



Attorney Docket No. 1344.1120

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Takafumi TERAHARA, et al.

Application No.: 10/606,935

Group Art Unit: TBA

Filed: June 27, 2003

Examiner: TBA

For: WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, AND  
WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL TRANSMISSION METHOD

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents  
PO Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicants submit herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2002-191346

Filed: June 28, 2002

It is respectfully requested that the applicants be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: 10-2-03

By: \_\_\_\_\_

John C. Garvey  
Registration No. 28,607

1201 New York Ave, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20005  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 6月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-191346

[ST.10/C]:

[JP2002-191346]

出 願 人

Applicant(s):

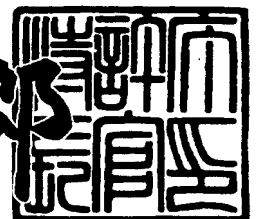
富士通株式会社



2002年10月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3081463

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251108

【提出日】 平成14年 6月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 10/12

【発明の名称】 波長多重光伝送システムおよび波長多重光伝送方法

【請求項の数】 10

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 寺原 隆文

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 中村 健太郎

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100078330

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 笹島 富二雄

    【電話番号】 03-3508-9577

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 009232

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】            要約書    1

【包括委任状番号】   9719433

【プルーフの要否】    要

【書類名】明細書

【発明の名称】波長多重光伝送システムおよび波長多重光伝送方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の光送信器から出力される波長の異なる信号光を光合波器により合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬した波長多重信号光を光分波器により波長に応じて分波して複数の光受信器で受信する波長多重光伝送システムにおいて、

前記複数の光送信器は、信号光の変調形式を定め、かつ、前記光合波器および前記光分波器の透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて計算される、伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に近づくように、ビットレートおよび周波数間隔が設定された信号光をそれぞれ発生し、

前記光合波器および前記光分波器は、前記モデル式に従い、かつ、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に応じて透過帯域幅が設定された透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記信号光の変調形式は、NRZ 変調形式であり、

前記光合波器および前記光分波器の透過特性を表すモデル式は、各信号光の波長に対応した各々の透過帯形状を、周波数  $f$ 、透過帯域の中心周波数  $f_c$ 、透過帯域の半値全幅  $\Delta f$ 、フィルタ次数  $n$  を用いて次式

【数 1】

$$T(f) = 10 \cdot \log \left[ \exp \left\{ -2 \cdot \ln \sqrt{2} \cdot \left( \frac{|f - f_c|}{\Delta f / 2} \right)^{2n} \right\} \right] \text{ [dB]}$$

で表したものであることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記フィルタ次数  $n$  が 2 次であり、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率が  $0.574 \text{ bit/s/Hz}$  であることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の波長多重光伝送システムであって、

信号光の 1 波あたりのビットレート  $B$  および周波数グリッド  $I$  が予め与えられたとき、 $k$  を自然数として表されるスペクトル効率  $B/(kI)$  と、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率との差が最小となるように自然数  $k$  を選定し、該自然数  $k$  に従って信号光の周波数間隔  $S = kI$  が設定されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項 5】

波長の異なる複数の信号光を合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬した波長多重信号光を波長に応じて分波して受信する波長多重光伝送方法において

信号光の変調形式を定め、かつ、信号光の合波および分波時における透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて、伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率を計算し、

該伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に近づくように、信号光のビットレートおよび周波数間隔を設定すると共に、前記信号光の合波および分波時における実際の透過特性を前記モデル式に従って設定して、波長多重信号光の伝送を行うことを特徴とする波長多重光伝送方法。

【請求項 6】

複数の波長の光信号を多重化するための波長多重化装置において、

前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする波長多重化装置。

【請求項 7】

複数の波長の光信号を多重化した波長多重光を波長多重分離するための波長多

重分離装置において、

前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする波長多重分離装置。

【請求項 8】

複数の波長の光信号を多重化して伝送路に出力する波長多重化装置と、前記伝送路からの波長多重光を波長多重分離する波長多重分離装置とを有する光伝送システムにおいて、

前記波長多重化装置および前記波長多重分離装置は、前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 9】

請求項 6 または 8 に記載の波長多重化装置および請求項 7 または 8 に記載の波長多重分離装置は、偏光に依存しない光部品で構成したことを特徴とする装置またはシステム。

【請求項 10】

波長の異なる複数の光をそれぞれ変調した複数の光信号を生成し、

該光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除してそれぞれを所定の帯域幅にし、

当該光信号を前記所定の帯域幅で波長多重して伝送することを特徴とする波長多重光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長の異なる複数の信号光を同一の光ファイバ中に多重化して伝送することにより大容量通信を実現する波長多重（WDM）光伝送システムおよび

WDM光伝送方法に関し、特に、各信号光を高密度に多重化して伝送するための技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

WDM光伝送システムの伝送容量を増大するためには、周波数間隔（波長間隔）を可能な限り狭くし、多くの波長を高密度に多重化する必要がある。しかし、信号光のスペクトルはビットレートに応じた広がりを持っており、そのスペクトルの広がりが周波数間隔を制限している。

【0003】

上記の信号光スペクトルの広がりは、ビットレートだけでなく変復調方式にも依存する。WDM光伝送システムに用いられる変復調方式としては、例えば次のような方式などが知られている。

- (1) NRZ変調形式を用いた強度変調－直接検波（IM-DD）方式
- (2) RZ変調形式を用いた強度変調－直接検波（IM-DD）方式
- (3) CS-RZ（Carrier suppressed-RZ）変調－直接検波方式（例えば、Y.Miyamoto, "1.2-Tbit/s (30x42.7-Gbit/s ETDM optical channel) WDM transmission over 376km with 125-km spacing using forward error correction and carrier-suppressed RZ format", OFC2000 PD26 等参照）
- (4) BSIM-DPSK変調－直接検波方式（例えば、T.Miyano, "Suppression of degradation induced by SPM/XPM+GVD in WDM transmission using a bit-synchronous intensity modulated DPSK signal", OECC2000 14D3-3 等参照）
- (5) VSB変調－直接検波方式（例えば、釣谷剛宏「光フィルタを用いた帯域削減RZ光信号による20Gbit/s WDM伝送に関する検討」OCS2001-28等参照）

これらの変復調方式の中で、実際の製品に最も広く用いられているのは、(1)の方式である。(2)～(4)の方式は、(1)の方式に比べてOSNR耐力が高いなどの利点はあるが、信号光がより広いスペクトルをもつため、高密度多重という観点からは不利になる。また、(5)の方式は、(1)の方式に比べて信号光スペクトルが狭く、高密度多重という観点からは有利であるが、光送信器構成が複雑になるという欠点がある。



【 0 0 0 4 】

また、WDM信号光を高密度化するための対策としては、上記のような変復調方式に着目した技術の他に、例えば次のような偏波の制御に基づく技術が提案されている。

(6) 偏波直交伝送技術 (T.Ito "6.4Tb/s (160x40Gb/s) WDM TRANSMISSION EXPERIMENT WITH 0.8 bit/s/Hz SPECTRAL EFFICIENCY", ECOC2000 PD1.1等参照)

(7) 偏波多重伝送技術 (例えば、Y.Frignac "Transmission of 256 wavelength-division and polarization-division-multiplexed channels at 42.7Gb/s (10.2Tb/s capacity) over 3x100km of TeraLight<sup>TM</sup> fiber", OFC2002 Postdeadline Papers FC5-1等参照)

ところで、WDM信号光の高密度化を表す指標としてスペクトル効率が知られている。このスペクトル効率は、1波あたりのビットレート $B$ を周波数間隔 $S$ で割った値 ( $B/S$ ) で定義される。

【 0 0 0 5 】

例えば、前述の(1)に示した通常のNRZ変調形式を用いた強度変調-直接検波(IM-DD)方式では、(6)に示した偏波直交伝送技術や(7)に示した偏波多重伝送技術を適用しない場合で、最大 $0.4 \text{ bit/s/Hz}$ のスペクトル効率が得られている。具体的には、1波あたり $10 \text{ Gbit/s}$ の信号光を $25 \text{ GHz}$ 間隔で多重化した例 (例えば、P.Le Roux "25GHz SPACED DWDM 160x10.66Gbit/s (1.6Tbit/s) UNREPEATERED TRANSMISSION OVER 380km", ECOC2001 PDM1.5等参照)、または、1波あたり $40 \text{ Gbit/s}$ の信号光を $100 \text{ GHz}$ 間隔 (例えば、H.Ooi "3.5Tbit/s (43-Gbit/s x 88ch) transmission over 600-km NZDSF with VIPA variable dispersion compensators", OFC2002 ThX3等参照) で多重化した例などが報告されている。

【 0 0 0 6 】

また、研究段階では、前述の(5)に示したVSB変調-直接検波方式に(6)および(7)に示した偏波制御に関する技術などを適用することによって、 $0.4 \text{ bit/s/Hz}$ を超えるスペクトル効率が実現されている。

【 0 0 0 7 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前述した偏波直交伝送技術および偏波多重伝送技術を実現するためには、光送信器や光受信器の部品数が多くなると共に組み立て作業が非常に複雑化するため、サイズの大型化およびコストの上昇を招いてしまうという問題がある。このため、偏波直交伝送および偏波多重伝送を行うことなく、小型かつ低コストの光送信器および光受信器を使用した構成により、 $0.4 \text{ bit/s/Hz}$ を超えるスペクトル効率を実現してシステムの大容量化を図ることが求められている。

## 【0008】

スペクトル効率の増加を図る上で大きな課題となるのは、信号光間のクロストークによってQ値が劣化することである。すなわち、スペクトル効率を増加して伝送容量を拡大できたとしても、それによってQ値が劣化して伝送距離が縮小してしまえば市場の要求を満足できなくなる場合がある。

このような観点からシステム性能を議論するためには、スペクトル効率だけではなく、例えば、伝送距離および伝送容量の積の値（以下、伝送距離容量積と呼ぶことにする）を性能指標として用いることが有効であり、システム設計上では、上記の伝送距離容量積を最大化することが重要な課題となる。伝送距離容量積を最大化するためには、信号光間のクロストークによるQ値劣化を抑圧することが重要である。

## 【0009】

本発明は上記の点に着目してなされたもので、高いスペクトル効率と大きな伝送距離容量積が同時に得られるような伝送条件を特定し、小型かつ低コストな光送信器および光受信器を用いて高密度波長多重光伝送を実現した光伝送システムおよび光伝送方法を提供することを目的とする。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明のWDM光伝送システムの1つの態様は、複数の光送信器から出力される波長の異なる信号光を光合波器により合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬したWDM信号光を光分波器により波長に応

じて分波して複数の光受信器で受信するシステムである。このWDM光伝送システムにおいて、複数の光送信器は、信号光の変調形式を定め、かつ、光合波器および光分波器の透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて計算される、伝送距離および伝送容量の積（伝送距離容量積）が最大値となるスペクトル効率に近づくように、ビットレートおよび周波数間隔が設定された信号光をそれぞれ発生する。また、光合波器および光分波器は、上記のモデル式に従い、かつ、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率に応じて透過帯域幅が設定された透過特性を有する。

## 【 0 0 1 1 】

かかる構成のWDM光伝送システムでは、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率を計算により特定し、そのスペクトル効率に近づくように、各光送信器から出力される信号光のビットレートおよび周波数間隔、並びに、光合波器および光分波器の透過特性がそれぞれ最適化されるようになる。これにより、偏波直交伝送や偏波多重伝送を適用することなく、高いスペクトル効率を実現しながら伝送距離容量積の増大を図ることができるため、低コストかつ小型の光送信器および光受信器を用いて高密度波長多重光伝送を実現した大容量の光伝送システムを提供することが可能になる。

## 【 0 0 1 2 】

上記のWDM光伝送システムについて、信号光の変調形式は、NRZ変調形式であり、光合波器および光分波器の透過特性を表すモデル式は、各信号光の波長に対応した各々の透過帯形状を、周波数  $f$ 、透過帯域の中心周波数  $f_c$ 、透過帯域の半値全幅  $\Delta f$ 、フィルタ次数  $n$  を用いて次式

## 【 0 0 1 3 】

## 【 数 2 】

$$T(f) = 10 \cdot \log \left[ \exp \left\{ -2 \cdot \ln \sqrt{2} \cdot \left( \frac{|f - f_c|}{\Delta f / 2} \right)^{2n} \right\} \right] \text{ [dB]}$$

で表したものであってもよい。この場合、フィルタ次数  $n$  が 2 次であれば、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率は  $0.574 \text{ bit/s/Hz}$  となる。

#### 【0014】

さらに、信号光の 1 波あたりのビットレート  $B$  および周波数グリッド  $I$  が予め与えられたとき、 $k$  を自然数として表されるスペクトル効率  $B/(kI)$  と、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率との差が最小となるように自然数  $k$  を選定し、該自然数  $k$  に従って信号光の周波数間隔  $S = kI$  が設定されるようにしてもよい。

#### 【0015】

本発明の WDM 光伝送システムの別の態様は、複数の波長の光信号を多重化して伝送路に出力する波長多重化装置と、伝送路からの波長多重光を波長多重分離する波長多重分離装置とを有する光伝送システムにおいて、波長多重化装置および波長多重分離装置は、光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を上記のスペクトル幅より狭い間隔とするものである。また、上記の波長多重化装置および波長多重分離装置は、偏光に依存しない光部品で構成することが可能である。このような構成のシステムによっても、偏波直交伝送や偏波多重伝送を適用することなく、高いスペクトル効率を実現しながら伝送距離容量積の増大を図ることができる。

#### 【0016】

本発明の WDM 光伝送方法の 1 つの態様は、波長の異なる複数の信号光を合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬した波長多重信号光を波長に応じて分波して受信する方法において、信号光の変調形式を定め、かつ、信号光の合波および分波時における透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて、伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率を計算し、該伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に近づくように、信号光のビットレートおよび周波数間隔を設定すると共に、信号光の合波および分波時における実際の透過特性を前記モデル式に従って設定して、波長多重信号光の伝送を行う

ことを特徴とする。

【0017】

本発明のWDM光伝送方法の別の態様は、波長の異なる複数の光をそれぞれ変調した複数の光信号を生成し、該光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除してそれぞれを所定の帯域幅にし、当該光信号を前記所定の帯域幅で波長多重して伝送することを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

まず、本発明の光伝送システムの特長を理解する上で有用であるため、スペクトル効率の向上を図ることで発生する信号光間のクロストークによるQ値劣化について、図1～図3を参照しながら説明することにする。

【0019】

ここでは、例えば図1に示すように、複数の光送信器(OS)1から出力される波長 $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ , ...の各信号光が光合波器(OMUX)2により多重化されて1本の光伝送路3に送信され、光伝送路3上に設けられた光中継器6で増幅されながら伝搬したWDM信号光が光分波器(ODMUX)4で波長ごとに分波されて各々に対応した光受信器(OR)5で受信されるような光伝送システムについて、各信号光の周波数間隔(波長間隔)が広く設定されると共に、光合波器2および光分波器4の各波長 $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ , ...に対応したフィルタ特性も広い透過帯域幅を持つように設定される場合を想定する。なお、光合波器2は波長多重化装置に相当し、光分波器4は波長多重分離装置に相当するものである。

【0020】

この場合、各光送信器1から出力された信号光は、光合波器2においてスペクトルの形状が殆ど変化することなく、各々のスペクトル幅よりも広い間隔で合波されて光伝送路3に送られる。従って、各波長の信号光スペクトルが重なることは無いため、信号光間のクロストークによるQ値劣化は基本的に発生しない。

上記のような比較的広い周波数間隔のWDM光伝送システムに対して、例えば図2に示すように周波数間隔を狭くした場合のシステムでは、光合波器2で合波

された各信号光は隣り合う波長のスペクトルが重なり合うようになるため、信号光間のクロストークが発生してQ値劣化が生じることになる。このようなクロストークによるQ値劣化を回避するためには、例えば図3に示すように、光合波器2および光分波器4により各信号光のスペクトルの高周波成分をスライスする方法が有効である。

#### 【0021】

しかしながら、図3の光伝送システムでは、光合波器2および光分波器4で各信号光のスペクトルをスライスし過ぎると、かえって大きなQ値劣化が生じる可能性もある。また、ビットレートに応じたスペクトル広がりに対して、あまり周波数間隔を詰め過ぎても効果が得られないことが確認されている。

そこで、本発明は、高いスペクトル効率においてもQ値劣化を抑圧可能な光伝送システムを実現すべく、WDM信号光のビットレートおよび周波数配置、並びに、光合波器2および光分波器4のフィルタ特性を最適化するための具体的な技術を提供する。以下、本発明における最適化のための技術の詳細について説明する。

#### 【0022】

図4は、スペクトル効率 $B/S$ の変化に対するQ値劣化量 $\Delta Q$ を計算した一例を示す図である。この計算例では、前述の図1～図3に示した場合と同様のシステム構成を仮定すると共に、偏波直交や偏波多重を行わないことを前提とするため、全信号光の偏波状態は同一（最悪ケース）であると仮定した。また、説明を簡単にするため、WDM信号光の波長数を8波として中心波長のQ値劣化を評価した。

#### 【0023】

さらに、上記のQ値劣化量 $\Delta Q$ は、1波伝送時のQ値を $Q_0$ 、8波伝送時の中心波長のQ値を $Q$ として次の(1)式で定義されるものとする。

#### 【0024】

【数3】

$$\Delta Q = 20 \cdot \log \frac{Q}{Q_0} [\text{dB}] \dots (1)$$

このQ値劣化量 $\Delta Q$ を決定する要因は、隣接波長間の信号光スペクトル、並びに、光合波器2および光分波器4のフィルタ特性（透過特性）である。このため、波長数が増減しても $\Delta Q$ の計算結果は変わらないものとする。

【0025】

加えて、Q値劣化量 $\Delta Q$ を計算する際に用いる光合波器2および光分波器4のフィルタ特性は、各信号光の波長に対応した各々の透過特性の形状を、例えば次の（2）式に示す関数で仮定して実際のフィルタ特性をモデル化している。

【0026】

【数4】

$$T(f) = 10 \cdot \log \left[ \exp \left\{ -2 \cdot \ln \sqrt{2} \cdot \left( \frac{|f - f_c|}{\Delta f / 2} \right)^{2n} \right\} \right] [\text{dB}] \dots (2)$$

ただし、 $f_c$ は透過帯域の中心周波数、 $\Delta f$ は半値全幅、 $n$ は関係式の次数であって、ここでは $n=2$ とすることにより、2次のスーパーガウシアンと呼ばれる関数型に相当するようになる。半値全幅 $\Delta f$ については、信号光スペクトルに応じた所要の値を予め設定しておくか、または、スペクトル効率 $B/S$ の変化に応じて最適化するようにしてもよい。

【0027】

図4の計算結果に示すように、スペクトル効率 $B/S$ を約 $0.6 \text{ bit/s/Hz}$ より大きくすると、Q値劣化量 $\Delta Q$ が急激に増加することが分かる。このQ値劣化の主要因は、光合波器2および光分波器4による信号光スペクトルのカッ

トオフと信号光間のクロストークであると考えられる。また、光合波器2および光分波器4の各波長に対応した透過帯域幅 $\Delta f$ （半値全幅）を信号光のクロック周波数 $f_b$ で割った値 $\Delta f / f_b$ を変化させたときの特性変化から明らかなように、Q値劣化量 $\Delta Q$ はフィルタの帯域幅 $\Delta f$ によって異なることが分かる。

【0028】

次に、前述したシステムの性能指標となる伝送距離容量積について詳しく説明する。

一般的な伝送特性として、光中継間隔がほぼ等間隔である光多中継伝送系の場合、その伝送距離は $10 \cdot (-\Delta Q / 10)$ にほぼ比例する。また、WDM信号光の波長帯域幅（WDM帯域幅）が一定であるとした場合、伝送容量は、スペクトル効率 $B/S$ に比例する。すなわち、伝送容量 $C$ は、WDM信号光の波長数 $N$ 、1波あたりのビットレート $B$ 、WDM帯域幅 $W$ および周波数間隔 $S$ を用いて、 $C = N \cdot B = (W/S) \cdot B = W \cdot (B/S)$ と表すことができ、スペクトル効率 $B/S$ に比例する。従って、 $10 \cdot (-\Delta Q / 10) \cdot B/S$ を最大化することができれば、伝送距離容量積を最大化することができることになる。そこで、本発明では $10 \cdot (-\Delta Q / 10) \cdot B/S$ の値（以下、パフォーマンスインデックス $PI$ と称する）に注目して、WDM信号光のビットレートおよび周波数配置、並びに、光合波器2および光分波器4のフィルタ特性の最適化を図るようにする。

【0029】

図5は、スペクトル効率 $B/S$ に対するパフォーマンスインデックス $PI$ の関係を計算により求めた一例を示す図である。

図5の関係を得るためには、光合波器2および光分波器4のフィルタ特性に関するモデル式を仮定することと、信号光の変調形式を決定することが条件となる。ここでは、フィルタ特性として例えば（2）式に示した2次のスーパーガウシアンを適用し、信号光の変調形式として例えばNRZ変調形式を適用して、スペクトル効率 $B/S$ に対するパフォーマンスインデックス $PI$ の関係を計算している。

【0030】



図5の計算結果に示すように、フィルタ特性に関するモデル式および信号光の変調形式の条件を決めることにより、スペクトル効率 $B/S$ に対するパフォーマンスインデックス $PI$ は、特定の値のスペクトル効率 $B/S$ が得られるときに最大値をとることが分かる。具体的に、フィルタ特性として2次のスーパーガウシアン、信号光の変調形式としてNRZ変調形式を適用した場合には、スペクトル効率 $B/S$ が $0.574 \text{ bit/s/Hz}$ 近傍でパフォーマンスインデックス $PI$ が最大、すなわち、伝送距離容量積が最大になる。従って、このようなパフォーマンスインデックス $PI$ を最大にするスペクトル効率 $B/S$ に近づくように、実際に用いるWDM信号光のビットレートおよび周波数配置と、光合波器2および光分波器4のフィルタ特性とを最適化することで、高いスペクトル効率と大きな伝送距離容量積を同時に実現した光伝送システムを設計することができるようになる。

#### 【0031】

ところで、WDM光伝送システムで用いられる信号光の中心周波数（中心波長）については、例えばITUで議論されており、現在、 $25 \text{ GHz}$ 間隔のITUグリッドまでが標準化されている。通常、光送信器1の光源として利用されるチューナブルレーザなどの光部品は、ITUグリッドに準拠して製品化される。このため、ITUグリッドに準拠した信号光周波数を採用すると、市場に広く出回っているITU準拠の標準部品を使用することができるため、光送信器の低コスト化を図ることが可能になる。

#### 【0032】

一方、光伝送装置に用いられるビットレートとしては、SONET/SDHに対応したビットレート（例えば、 $10 \text{ Gbit/s}$ や $40 \text{ Gbit/s}$ など）が用いられることが一般的である。また、公知の誤り訂正（FEC: Forward Error Correction）技術を採用することにより、SONET/SDHに準拠したビットレートの1～1.25倍に相当するビットレートが用いられる光伝送装置もある。このような状況を踏まえると、現在、想定されるビットレートとしては、例えば、 $10 \sim 12.5 \text{ Gbit/s}$ 、 $20 \sim 25 \text{ Gbit/s}$ 、 $40 \sim 50 \text{ Gbit/s}$ 、 $80 \sim 100 \text{ Gbit/s}$ 、 $160 \sim 200 \text{ Gbit/s}$ などが考え

られる。

### 【0033】

WDM光伝送システムの設計を行うときの1つの課題は、伝送するWDM信号光についての周波数グリッド $I$ とビットレート $B$ が与えられたときに、伝送距離容量積を最大値に近づけるような周波数間隔 $S = kI$  ( $k$ は自然数)を見出すことである。すなわち、前述の図5に示した計算例においては、スペクトル効率 $B/S$ が $0.574 \text{ bit/s/Hz}$ に近づくように、言い換えれば、 $|B/(kI) - 0.574| \text{ bit/s/Hz}$ が小さくなるように、自然数 $k$ を選ぶことによって、伝送距離容量積を最大化することができる。

### 【0034】

具体的には、例えば図6に示すように、周波数グリッド $I = 25 \text{ GHz}$ 間隔、ビットレート $B = 40 \sim 50 \text{ Gbit/s}$ としたときには、自然数 $k = 3$ とすることにより、伝送距離容量積が最大化されることが分かる。特に、ビットレート $B = 43 \text{ Gbit/s}$ とした場合には、スペクトル効率 $B/S = 0.574 \text{ bit/s/Hz}$ となって最大の効果が得られることが分かる。

### 【0035】

なお、図6では、周波数グリッド $I = 25 \text{ GHz}$ およびビットレート $B = 40 \sim 50 \text{ Gbit/s}$ の一例を挙げたが、 $B/I$ の値が同じであれば、周波数グリッド $I$ およびビットレート $B$ が変わっても図6の計算結果は同様のものとなるため、多様な周波数グリッド $I$ およびビットレート $B$ に対して応用することが可能である。

### 【0036】

また、スペクトル効率 $B/S = 0.574 \text{ bit/s/Hz}$ のときに伝送距離容量積が最大になることを具体的に示したが、伝送距離容量積が最大になるスペクトル効率の値は、フィルタ特性のモデル式および信号光の変調形式に応じて変化するものであり、上記の値に限定されるものではない。

上記のような検討結果に基づいてWDM光伝送システムを設計する際にさらに留意すべき点は、光伝送路上に配置される光増幅器の利得帯域にいくに多くの光信号を配置して伝送容量を増加させるかということである。すなわち、前述の図

1 に示したような光伝送システムでは、伝送路上の光中継器 6 内で光を直接増幅する光増幅器 6 1 の利得を有する帯域により多くの光信号を配置できるかが伝送容量を増加させる鍵となる。

## 【 0 0 3 7 】

光増幅器 6 1 は、希土類元素をドープした希土類元素ドープファイバと、それを励起する励起光源から構成され、伝送路を伝搬した光による誘導放出現象によって光増幅を行うものであり、この光増幅器 6 1 の利得および該利得を有する帯域は希土類元素と希土類元素ドープファイバに添加されるアルミニウム等のドープメントにより決まる。このため、光増幅器 6 1 の利得を有する帯域により多くの光信号を配置することができれば、伝送容量の増加を図ることが可能になる。一方、前述の図 1 にも示したように、光信号は光を変調した符号化方式と、そのビットレートに応じてスペクトルが決まる。図 2 のように光信号間のスペクトルを重ねて多重化するとクロストークにより伝送特性が劣化する。従って、光増幅器 6 1 の利得帯域内に、光信号同士のクロストークによって伝送特性が劣化しないようにし、かつ、符号化方式とそのビットレートにより決まるスペクトルで光増幅器の利得帯域を割って求めた信号数よりも多く光信号を波長多重することができれば有効である。

## 【 0 0 3 8 】

そこで、本発明は、前述の図 3 に示したように、送信側の波長多重化装置に相当する光合波器 2 において、光信号のビットレートと符号化の種類により求められるスペクトル幅よりも狭い帯域の光フィルタを用いて光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除する。そして、この短波長側および長波長側の各成分を削除した光信号のスペクトル間にクロストークが発生しないように、各光信号の間隔をビットレートと符号化の種類により求められるスペクトル幅より狭い間隔で波長多重して伝送路に送信するようにする。

## 【 0 0 3 9 】

また、受信側の波長多重分離装置に相当する光分波器 4 でも同様に、送信部の光信号のビットレートと符号化の種類により求められるスペクトル幅よりも狭い帯域の光フィルタを用いて光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成

分を削除する。そして、短波長側および長波長側の各成分を削除した光信号のスペクトル間にクロストークが発生しないように、各光信号の間隔をビットレートと符号化の種類により求められるスペクトル幅より狭い間隔で波長多重分離するようにする。

## 【0040】

このような構成にすることで、隣接する光信号チャンネル間で偏波直交をしなくともクロストークが発生せずにWDM信号光の伝送を行うことができるようになる。すなわち、波長多重化装置（光合波器）および波長多重分離装置（光分波器）のフィルタを光信号の持つスペクトルに対応させて構成することで、隣接する光信号チャンネル間で偏波直交多重を行う必要はなくなり、波長多重化装置および波長多重分離装置を構成するフィルタデバイスは無偏光（偏光依存性の無い）光部品を使用することができるようになる。

## 【0041】

図7は、上述したような検討結果に基づいて最適化を図ったWDM光伝送システムの一実施形態を示す構成図である。

図7に示すWDM光伝送システムでは、NRZ形式で強度変調されたビットレート  $B = 43 \text{ Gbit/s}$  の信号光が、 $25 \text{ GHz}$  のITUグリッド上に周波数間隔  $S = kI = 3 \cdot 25 \text{ GHz} = 75 \text{ GHz}$  で配置されて送受信されるように、各光送信器1および各光受信器5の波長設定や変復調方式（具体的には、強度変調－直接検波（IM-DD）方式）が予め設定されている。また、各光送信器1から出力される信号光を合波する光合波器2および光伝送路3を伝搬したWDM信号光を分波する光分波器4には、各信号光の波長に対応させて前述の（2）式に示した2次のスーパーガウシアンに従う透過特性が得られるように設計された公知の光フィルタが適用される。このような光合波器2および光分波器4により、信号光スペクトルの高周波成分が最適な状態でスライスされるようになる。なお、光伝送路3上には、公知の光増幅器61を備えた光中継器6が配置されている。

## 【0042】

上記のような透過特性を実現する光合波器2の具体的な構成としては、例えば

、図 8 に示すアレイ型導波路格子 (AWG : Arrayed Waveguide Grating) を用いた構成、図 9 に示す AWG または誘電体多層膜フィルタと干渉フィルタを用いた光インターリーバとを組み合わせた構成などが好適である。また、例えば図 10 に示すように、図 9 の構成を 1 つのユニットとして各ユニットを光インターリーバを用いて組み合わせた構成を適用することも可能である。上記の図 8 ~ 図 10 に示したような光合波器 2 については、偏光に依存しない光部品 (偏光保持を行わない光学部品) で構成することができる。なお、ここでは光合波器 2 の具体的な構成について説明したが、光分波器 4 についても光合波器 2 と同様の構成とすることが可能である。

#### 【 0 0 4 3 】

上記のような構成を適用することにより、図 6 の計算結果を得るために仮定した 2 次のスーパーガウシアンに従う透過特性が実現されることが理想的であるが、実際に得られるフィルタ特性は上記の仮定からずれることも考えられる。そこで、以下では、光合波器 2 および光分波器 4 のフィルタ特性に関するトレランスについて検討を加えておく。

#### 【 0 0 4 4 】

前述の (2) 式に示した関数について、図 6 の結果を得るための計算過程では、次数  $n$  を 2 次と仮定すると共に、半値全幅  $\Delta f$  を所要の値で一定とするかスペクトル効率  $B/S$  に応じて最適化するようにした。ここでは、次数  $n$  を段階的に変化させながら半値全幅  $\Delta f$  に対するパフォーマンスインデックス  $PI$  の関係を計算することによって、フィルタ特性に関するトレランスの具体的な検討を行うことにする。

#### 【 0 0 4 5 】

まず、第 1 の設定例として、信号光のビットレート  $B$  と周波数グリッド  $I$  の比率  $B/I$  が  $1.60 \text{ bit/s/Hz}$  に設定されることを想定した場合について考える。このような設定状態は、例えば、ビットレート  $B = 40 \text{ Gbit/s}$  ( $40 \text{ G}$  の SONET 信号光)、周波数グリッド  $I = 25 \text{ GHz}$  ( $25 \text{ GHz}$  間隔の ITU グリッド) とした場合に相当する。

#### 【 0 0 4 6 】

図 1 1 ～ 図 1 9 は、上記第 1 の設定例について、半値全幅  $\Delta f$  を信号光のクロック周波数  $f_b$  で割った値  $\Delta f / f_b$  に対するパフォーマンスインデックス  $PI$  の関係を計算により求めた結果を示す図である。ただし、図 1 1 ～ 図 1 6 は次数  $n$  を 1. 0 から 1. 5 まで 0. 1 刻みで大きくしていった場合を示し、図 1 7 ～ 図 1 9 は次数  $n$  を 2 から 3 まで 1 刻みで大きくしていった場合を示すものである。

## 【 0 0 4 7 】

図 1 1 ～ 図 1 9 の計算結果より、前述の図 6 に示した 2 次のフィルタ特性を仮定したときと同様に周波数間隔  $S = k I$  を決める自然数  $k$  を 3 に設定した場合に最大のパフォーマンスインデックス  $PI$  が得られるようにするためには、(2) 式の次数  $n$  を 1. 2 以上にすればよいことが分かる。従って、次数  $n$  を 1. 2 以上に設定し、パフォーマンスインデックス  $PI$  が最大値に近づくようにフィルタの帯域幅  $\Delta f$  を最適化することによって、伝送距離容量積をより大きくすることが可能になる。具体的に、フィルタの帯域幅  $\Delta f$  については、図 1 3 ～ 図 1 9 中の破線に示すように、 $\Delta f / f_b$  の値が 1. 5 0 ～ 1. 9 0 の範囲内となるように設定することによって、伝送距離容量積を増大させる効果が得られ、特に  $\Delta f / f_b = 1. 7 5$  の時に最大の効果が得られるようになる。

## 【 0 0 4 8 】

次に、第 2 の設定例として、信号光のビットレート  $B$  と周波数グリッド  $I$  の比率  $B / I$  が 1. 7 2 b i t / s / H z に設定されることを想定した場合について考える。このような設定状態は、例えば、ビットレート  $B = 4 3 \text{ G b i t / s}$ 、周波数グリッド  $I = 2 5 \text{ G H z}$  とした場合に相当する。なお、 $4 3 \text{ G b i t / s}$  の信号光は、 $4 0 \text{ G}$  の S O N E T 信号光に R S ( 2 5 5 , 2 3 9 ) 符号や B C H ( 8 1 6 0 , 7 6 4 8 , 3 9 ) 符号による誤り訂正を行ったときなどに得られるものである。

## 【 0 0 4 9 】

図 2 0 ～ 図 2 8 は、上記第 2 の設定例について、 $\Delta f / f_b$  の値に対するパフォーマンスインデックス  $PI$  の関係を計算により求めた結果を示す図である。ただし、図 2 0 ～ 図 2 5 は次数  $n$  を 1. 0 から 1. 5 まで 0. 1 刻みで大きくして

いった場合を示し、図 2 6～図 2 8 は次数  $n$  を 2 から 3 まで 1 刻みで大きくしていった場合を示すものである。

【0 0 5 0】

図 2 0～図 2 8 の計算結果より、2 次のフィルタ特性を仮定したときと同様に自然数  $k$  を 3 に設定した場合に最大のパフォーマンスインデックス  $PI$  が得られるようにするためには、(2) 式の次数  $n$  を 1. 5 以上にすればよく、パフォーマンスインデックス  $PI$  が最大値に近づくようにフィルタの帯域幅  $\Delta f$  を最適化することによって、伝送距離容量積をより大きくすることが可能になる。具体的に、フィルタの帯域幅  $\Delta f$  については、図 2 5～図 2 8 中の破線に示すように、 $\Delta f / f_b$  の値が 1. 4 5～1. 9 5 の範囲内となるように設定することによって、伝送距離容量積を増大させる効果が得られ、特に  $\Delta f / f_b = 1. 6 0$  の時に最大の効果が得られるようになる。

【0 0 5 1】

次に、第 3 の設定例として、信号光のビットレート  $B$  と周波数グリッド  $I$  の比率  $B / I$  が  $2. 0 0 \text{ bit} / \text{s} / \text{Hz}$  に設定されることを想定した場合について考える。このような設定状態は、例えば、ビットレート  $B = 5 0 \text{ Gbit} / \text{s}$ 、周波数グリッド  $I = 2 5 \text{ GHz}$  とした場合に相当する。なお、 $5 0 \text{ Gbit} / \text{s}$  の信号光は、 $4 0 \text{ G}$  の SONET 信号光に RS 接続符号による誤り訂正を行ったときなどに得られるものである。

【0 0 5 2】

図 2 9～図 3 7 は、上記第 3 の設定例について、 $\Delta f / f_b$  の値に対するパフォーマンスインデックス  $PI$  の関係を計算により求めた結果を示す図である。ただし、図 2 9～図 3 4 は次数  $n$  を 1. 0 から 1. 5 まで 0. 1 刻みで大きくしていった場合を示し、図 3 5～図 3 7 は次数  $n$  を 2 から 3 まで 1 刻みで大きくしていった場合を示すものである。

【0 0 5 3】

図 2 9～図 3 7 の計算結果より、2 次のフィルタ特性を仮定したときと同様に自然数  $k$  を 3 に設定した場合に最大のパフォーマンスインデックス  $PI$  が得られるようにするためには、(2) 式の次数  $n$  を 2. 0 以上にすればよく、パフォー

マンスインデックス  $PI$  が最大値に近づくようにフィルタの帯域幅  $\Delta f$  を最適化することによって、伝送距離容量積をより大きくすることが可能になる。具体的に、フィルタの帯域幅  $\Delta f$  については、図 3 5 ~ 図 3 7 中の破線に示すように、 $\Delta f / f_b$  の値が 1. 3 5 ~ 1. 7 0 の範囲内となるように設定することによって、伝送距離容量積を増大させる効果が得られ、特に  $\Delta f / f_b = 1. 4 5$  の時に最大の効果が得られるようになる。

## 【 0 0 5 4 】

上記第 1 ~ 第 3 の設定例に対応した検討結果に示したように、本発明による最適化の技術に従って設計される光合波器 2 および光分波器 4 のフィルタ特性は、そのモデル式の次数  $n$  (フィルタ特性の形状) や透過帯域幅  $\Delta f$  に対して比較的広い範囲で有効であるため、前述の図 8 ~ 図 1 0 に示したような公知の光フィルタを利用した構成により光合波器 2 および光分波器 4 を実現することが可能である。また、上記第 1 ~ 第 3 の設定例に対応した検討結果は、規格化された周波数で議論しているので、ビットレート  $B$  や周波数グリッド  $I$  の設定が上記以外の値に変更されても一般性を失うものではない。従って、4 0 ~ 5 0 G b i t / s 以外の他のビットレート、具体的には、上述したような S O N E T / S D H に準拠して想定される各種のビットレートに対応したシステムの設計にも容易に応用することが可能である。

## 【 0 0 5 5 】

上述したようにパフォーマンスインデックス  $PI$  が最大値となるスペクトル効率  $B / S$  を特定し、そのスペクトル効率  $B / S$  に近づくように WDM 信号光のビットレートおよび周波数配置、並びに、光合波器 2 および光分波器 4 のフィルタ特性を最適化するようにしたことで、偏波直交伝送や偏波多重伝送を適用することなく、0. 4 b i t / s / H z を超える高いスペクトル効率を実現しながら伝送距離容量積の増大を図ることができる。これにより、低コストかつ小型の光送信器 1 および光受信器 5 を用いて高密度波長多重光伝送を実現した大容量の光伝送システムを提供することが可能になる。

## 【 0 0 5 6 】

以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめる。



## 【 0 0 5 7 】

(付記 1) 複数の光送信器から出力される波長の異なる信号光を光合波器により合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬した波長多重信号光を光分波器により波長に応じて分波して複数の光受信器で受信する波長多重光伝送システムにおいて、

前記複数の光送信器は、信号光の変調形式を定め、かつ、前記光合波器および前記光分波器の透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて計算される、伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に近づくように、ビットレートおよび周波数間隔が設定された信号光をそれぞれ発生し、

前記光合波器および前記光分波器は、前記モデル式に従い、かつ、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に応じて透過帯域幅が設定された透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

## 【 0 0 5 8 】

(付記 2) 付記 1 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記信号光の変調形式は、NRZ 変調形式であり、

前記光合波器および前記光分波器の透過特性を表すモデル式は、各信号光の波長に対応した各々の透過帯形状を、周波数  $f$ 、透過帯域の中心周波数  $f_c$ 、透過帯域の半値全幅  $\Delta f$ 、フィルタ次数  $n$  を用いて次式

## 【数 5】

$$T(f) = 10 \cdot \log \left[ \exp \left\{ -2 \cdot \ln \sqrt{2} \cdot \left( \frac{|f - f_c|}{\Delta f / 2} \right)^{2n} \right\} \right] \text{ [dB]}$$

で表したものであることを特徴とする波長多重光伝送システム。

## 【 0 0 5 9 】

(付記 3) 付記 2 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記フィルタ次数  $n$  が 2 次であり、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値

長多重光伝送システム。

【0060】

(付記4) 付記3に記載の波長多重光伝送システムであって、

信号光の1波あたりのビットレート $B$ および周波数グリッド $I$ が予め与えられたとき、 $k$ を自然数として表されるスペクトル効率 $B/(kI)$ と、前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率との差が最小となるように自然数 $k$ を選定し、該自然数 $k$ に従って信号光の周波数間隔 $S = kI$ が設定されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0061】

(付記5) 付記4に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記ビットレート $B$ を前記周波数グリッド $I$ で割った値 $B/I$ が1.6～2.0 bit/s/Hzであるとき、前記自然数 $k$ として3が選定されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0062】

(付記6) 付記5に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記ビットレート $B$ として40～50 Gbit/s、前記周波数グリッド $I$ として25 GHz間隔が予め与えられるとき、周波数間隔が75 GHzに設定されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0063】

(付記7) 付記4に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記ビットレート $B$ を前記周波数グリッド $I$ で割った値 $B/I$ が1.6 bit/s/Hzであり、前記自然数 $k$ として3が選定されるとき、

前記光合波器および前記光分波器は、前記フィルタ次数 $n$ を1.2以上とした前記モデル式に従う透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0064】

(付記8) 付記7に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、前記透過帯域の半値全幅 $\Delta f$ を信号光のクロック周波数 $f_b$ で割った値 $\Delta f/f_b$ が1.50～1.90の範囲内となる

透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0065】

(付記9) 付記4に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記ビットレート  $B$  を前記周波数グリッド  $I$  で割った値  $B/I$  が  $1.7 \text{ bit/s/Hz}$  であり、前記自然数  $k$  として3が選定されるとき、

前記光合波器および前記光分波器は、前記フィルタ次数  $n$  を1.5以上とした前記モデル式に従う透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0066】

(付記10) 付記9に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、前記透過帯域の半値全幅  $\Delta f$  を信号光のクロック周波数  $f_b$  で割った値  $\Delta f/f_b$  が  $1.45 \sim 1.95$  の範囲内となる透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0067】

(付記11) 付記4に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記ビットレート  $B$  を前記周波数グリッド  $I$  で割った値  $B/I$  が  $2.0 \text{ bit/s/Hz}$  であり、前記自然数  $k$  として3が選定されるとき、

前記光合波器および前記光分波器は、前記フィルタ次数  $n$  を2以上とした前記モデル式に従う透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0068】

(付記12) 付記11に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、前記透過帯域の半値全幅  $\Delta f$  を信号光のクロック周波数  $f_b$  で割った値  $\Delta f/f_b$  が  $1.35 \sim 1.70$  の範囲内となる透過特性を有することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0069】

(付記13) 付記1に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、アレイ型導波路格子を用いて構成されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【0070】

(付記 1 4) 付記 1 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、干渉フィルタを用いた光インターリーバとアレイ型導波路格子とを組み合わせることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【 0 0 7 1 】

(付記 1 5) 付記 1 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記光合波器および前記光分波器は、干渉フィルタを用いた光インターリーバと誘電体多層膜フィルタとを組み合わせることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【 0 0 7 2 】

(付記 1 6) 付記 1 に記載の波長多重光伝送システムであって、

前記伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率は、システムの Q 値劣化量  $\Delta Q$ 、信号光のビットレート B および周波数間隔 S を用いて表されるパフォーマンスインデックス  $PI = 10 \cdot (-\Delta Q / 10) \cdot B / S$  が最大値となるスペクトル効率として計算されることを特徴とする波長多重光伝送システム。

【 0 0 7 3 】

(付記 1 7) 波長の異なる複数の信号光を合波して光伝送路に送信し、該光伝送路を伝搬した波長多重信号光を波長に応じて分波して受信する波長多重光伝送方法において、

信号光の変調形式を定め、かつ、信号光の合波および分波時における透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて、伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率を計算し、

該伝送距離および伝送容量の積が最大値となるスペクトル効率に近づくように、信号光のビットレートおよび周波数間隔を設定すると共に、前記信号光の合波および分波時における実際の透過特性を前記モデル式に従って設定して、波長多重信号光の伝送を行うことを特徴とする波長多重光伝送方法。

【 0 0 7 4 】

(付記 1 8) 複数の波長の光信号を多重化するための波長多重化装置におい

て、

前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする波長多重化装置。

【 0 0 7 5 】

(付記 1 9) 付記 1 8 に記載の波長多重化装置であって、  
偏光に依存しない光部品で構成したことを特徴とする波長多重化装置。

【 0 0 7 6 】

(付記 2 0) 複数の波長の光信号を多重化した波長多重光を波長多重分離するための波長多重分離装置において、

前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする波長多重分離装置。

【 0 0 7 7 】

(付記 2 1) 付記 2 0 に記載の波長多重分離装置であって、  
偏光に依存しない光部品で構成したことを特徴とする波長多重分離装置。

【 0 0 7 8 】

(付記 2 2) 複数の波長の光信号を多重化して伝送路に出力する波長多重化装置と、前記伝送路からの波長多重光を波長多重分離する波長多重分離装置とを有する光伝送システムにおいて、

前記波長多重化装置および前記波長多重分離装置は、前記光信号のビットレートと符号化の種類とに基づいて求められるスペクトル幅よりも狭い帯域のフィルタを用いて前記光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除し、当該光信号間隔を前記スペクトル幅より狭い間隔とすることを特徴とする光伝送システム。

【 0 0 7 9 】

(付記 2 3) 付記 2 2 に記載の光伝送システムであって、

前記波長多重化装置および前記波長多重分離装置は、偏光に依存しない光部品でそれぞれ構成したことを特徴とする光伝送システム。

【0080】

(付記24) 波長の異なる複数の光をそれぞれ変調した複数の光信号を生成し、

該光信号のスペクトルの短波長側および長波長側の各成分を削除してそれぞれを所定の帯域幅にし、

当該光信号を前記所定の帯域幅で波長多重して伝送することを特徴とする波長多重光伝送方法。

【0081】

【発明の効果】

以上説明したように本発明のWDM光伝送システムおよびWDM光伝送方法によれば、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率を計算によって特定し、そのスペクトル効率に近づくように、信号光のビットレートおよび周波数配置、並びに、光合波器および光分波器の透過特性を最適化するようにしたことで、高いスペクトル効率を実現しながら伝送距離容量積の増大を図ることができるため、大容量の高密度波長多重光伝送を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一般的なWDM光伝送システムにおいて周波数間隔が広く設定されている場合の信号光スペクトルの一例を示す図である。

【図2】一般的なWDM光伝送システムにおいて周波数間隔が狭く設定されている場合の信号光スペクトルの一例を示す図である。

【図3】図2のシステムにおいて信号光スペクトルをスライスするようにした場合の一例を示す図である。

【図4】スペクトル効率 $B/S$ の変化に対するQ値劣化量 $\Delta Q$ を計算した一例を示す図である。

【図5】本発明による最適化のための技術を説明する図であって、スペクトル効率 $B/S$ に対するパフォーマンスインデックス $PI$ の関係を求めた一例を示す図である。

【図 6】 図 5 の計算結果について 2 5 G H z 間隔の周波数グリッドおよび 4 0 ~ 5 0 G b i t / s のビットレートに対応させたときの検討結果を示す図である。

【図 7】 図 6 の検討結果に基づいて最適化を図った W D M 光伝送システムの構成例を示すブロック図である。

【図 8】 図 7 の構成例における光合波器の具体例を示す図である。

【図 9】 図 7 の構成例における光合波器の他の具体例を示す図である。

【図 1 0】 図 7 の構成例における光合波器の別の具体例を示す図である。

【図 1 1】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 2】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.1$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 3】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.2$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 4】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.3$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 5】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.4$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 6】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 1.5$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 7】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 2.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 8】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 3.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 1 9】  $B/I = 1.60$  とした第 1 の設定例について、 $n = 4.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 2 0】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $P I$  の関係を示す図である。

【図 2 1】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.1$  とし

た場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 2】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.2$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 3】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.3$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 4】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.4$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 5】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 1.5$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 6】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 2.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 7】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 3.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 8】  $B/I = 1.72$  とした第 2 の設定例について、 $n = 4.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 2 9】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 0】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.1$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 1】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.2$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 2】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.3$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 3】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.4$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 4】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 1.5$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図 3 5】  $B/I = 2.00$  とした第 3 の設定例について、 $n = 2.0$  とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。



【図36】  $B/I = 2.00$ とした第3の設定例について、 $n = 3.0$ とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【図37】  $B/I = 2.00$ とした第3の設定例について、 $n = 4.0$ とした場合の  $\Delta f / f_b$  に対する  $PI$  の関係を示す図である。

【符号の説明】

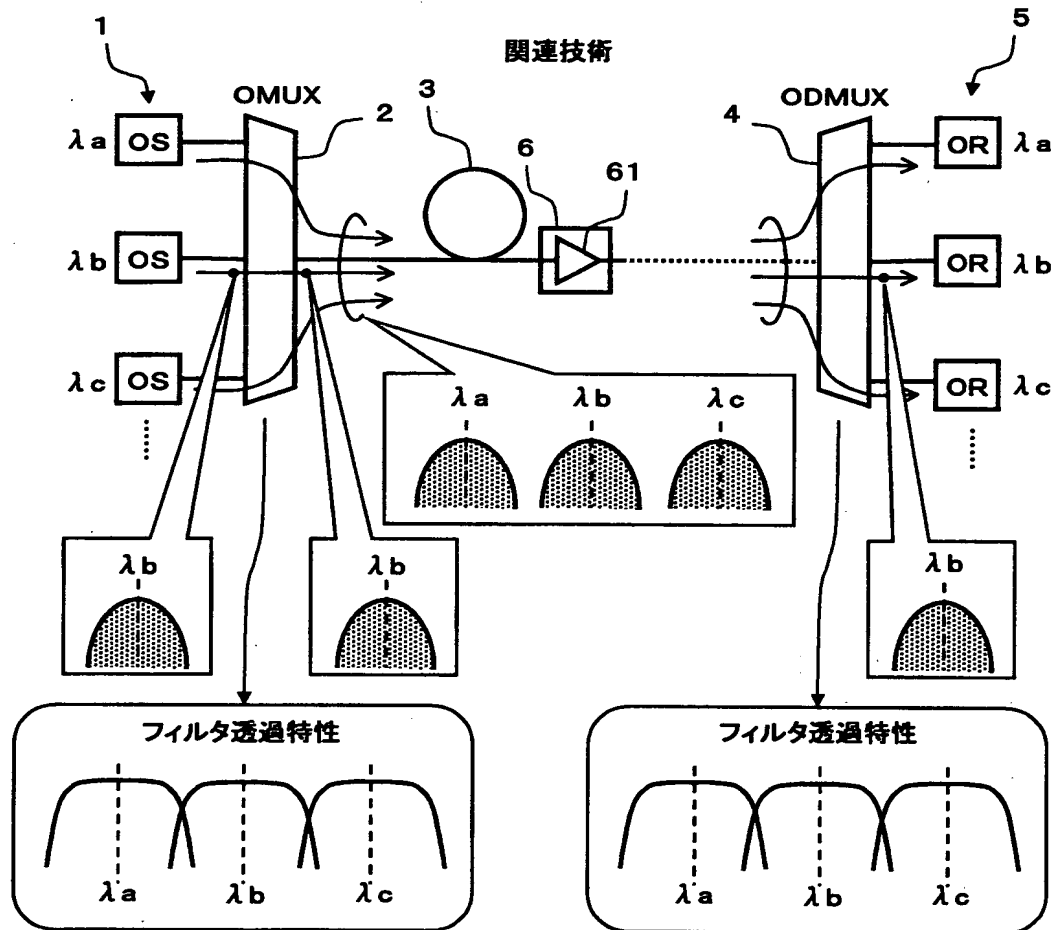
- 1 光送信器 (OS)
- 2 光合波器 (OMUX)
- 3 光伝送路
- 4 光分波器 (ODMUX)
- 5 光受信器 (OR)

$B/S$  スペクトル効率

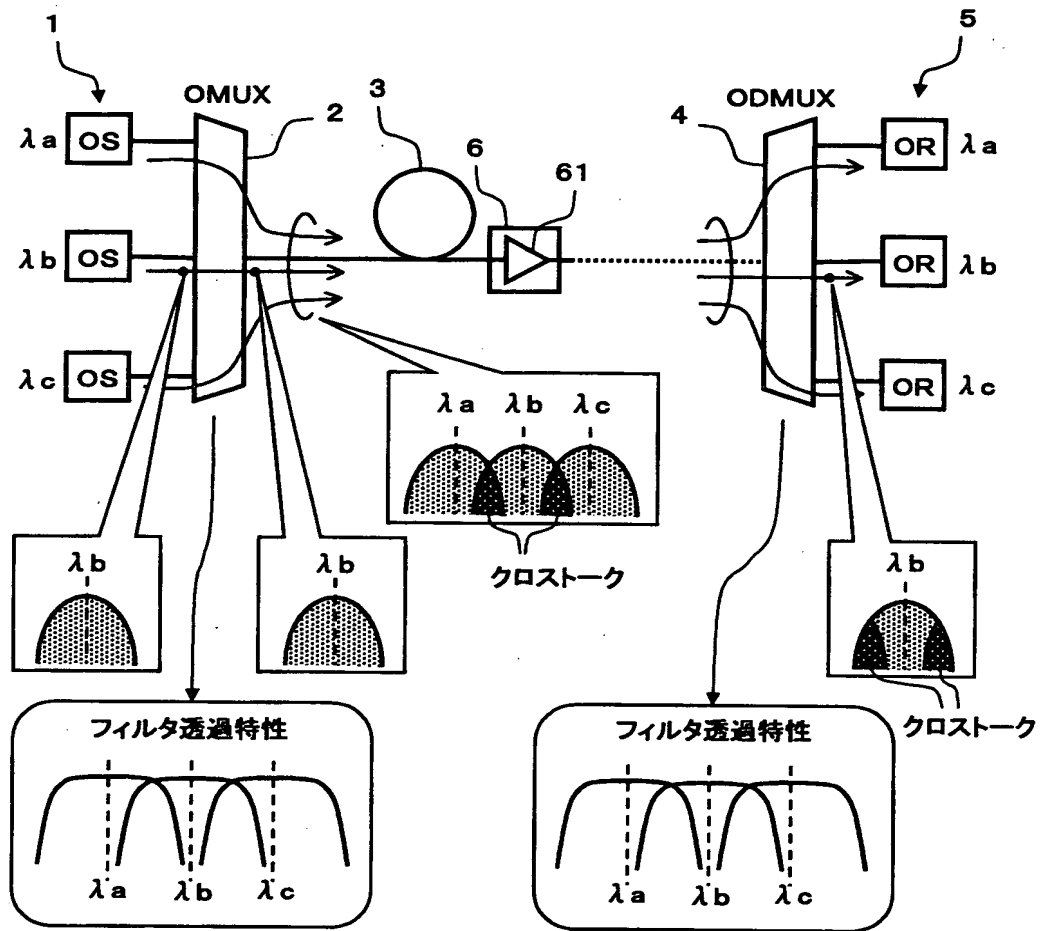
$PI$  パフォーマンスインデックス

【書類名】 図面

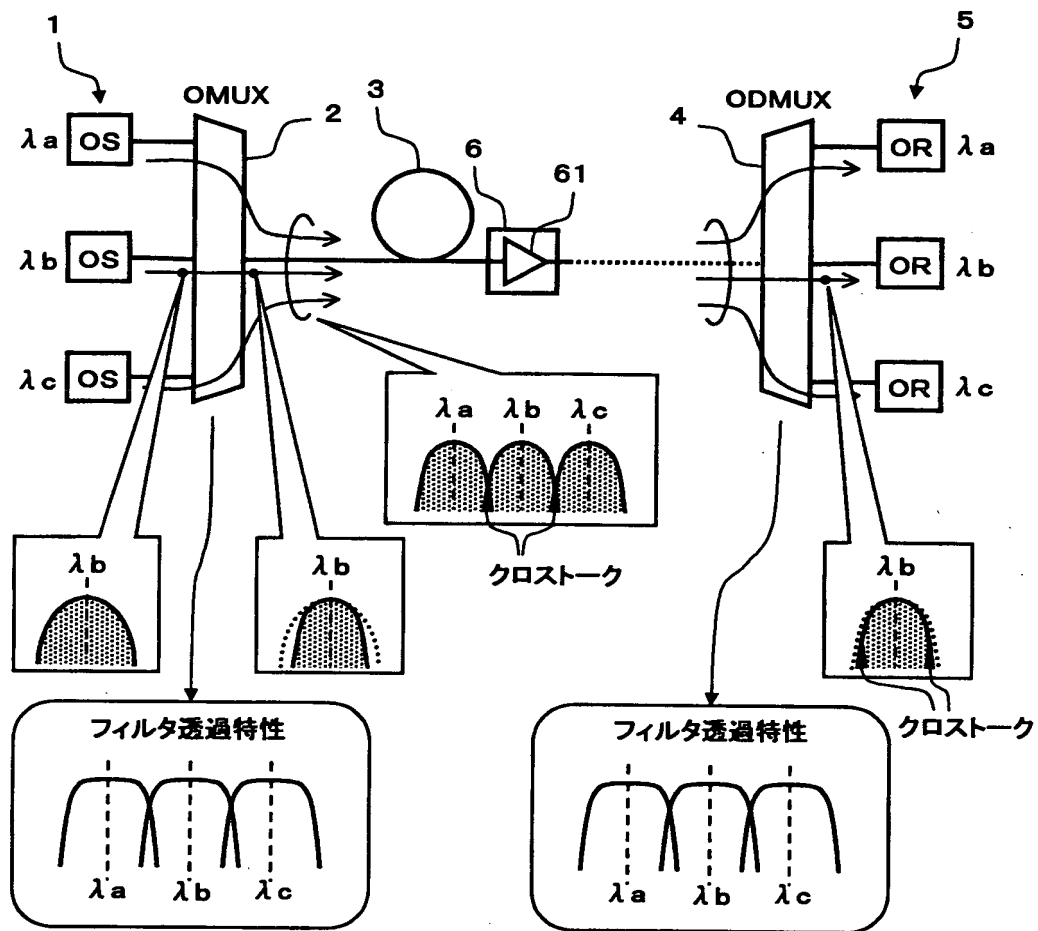
【図 1】



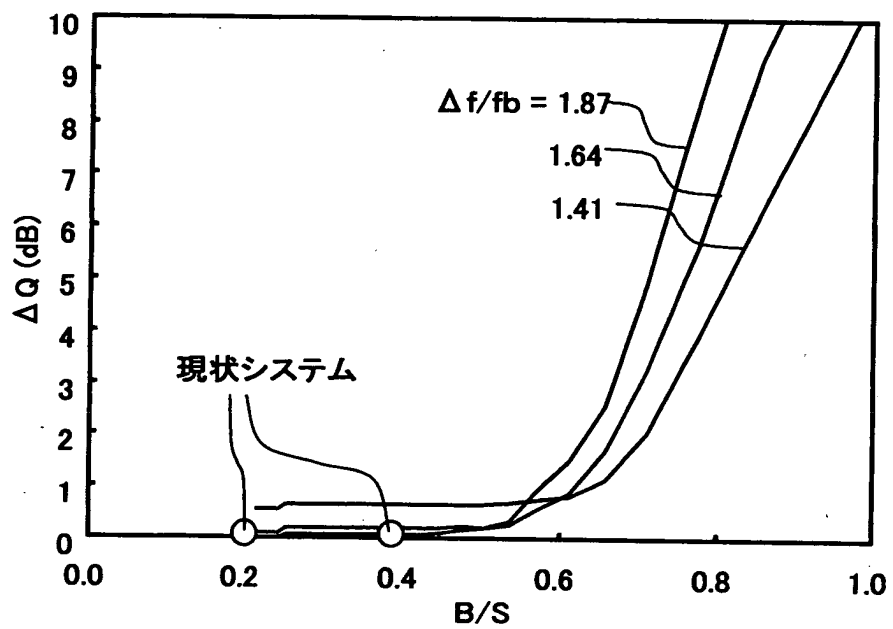
【図2】



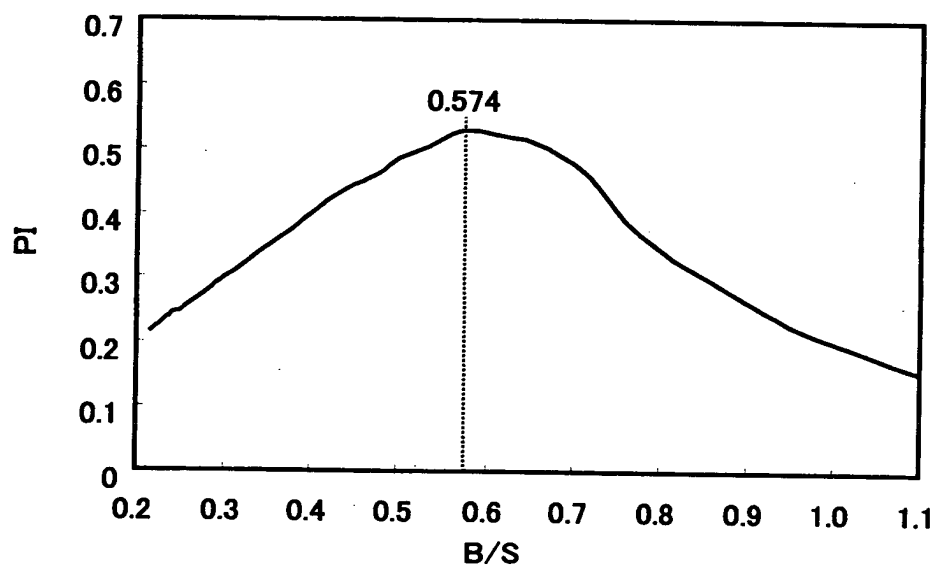
【図 3】



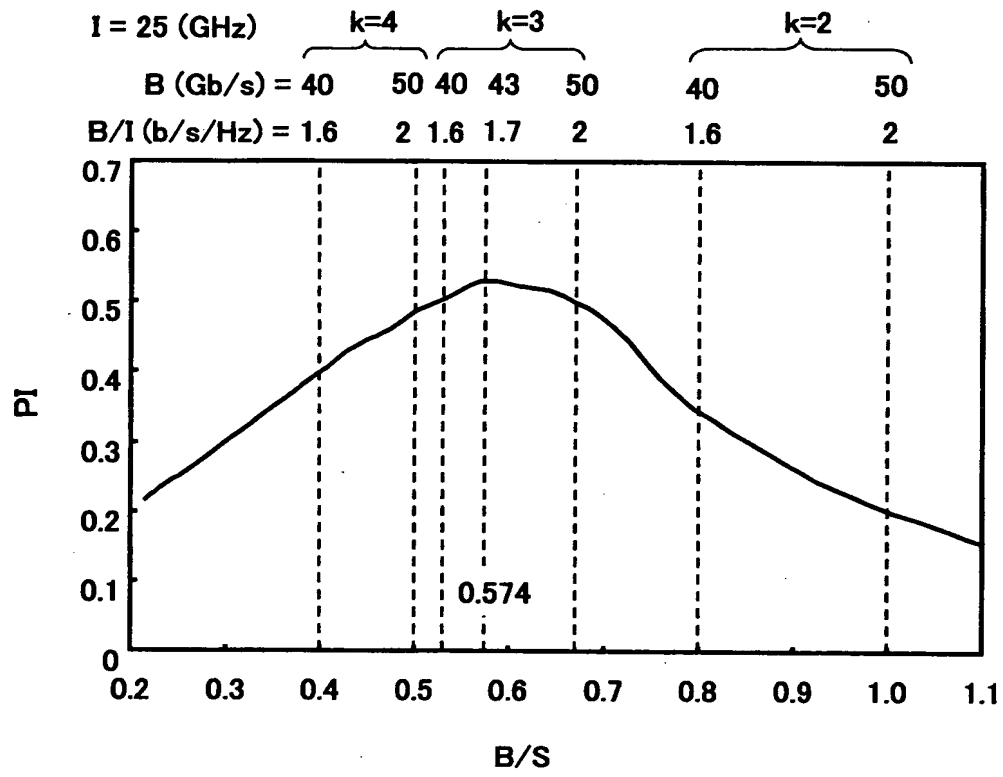
【図 4】



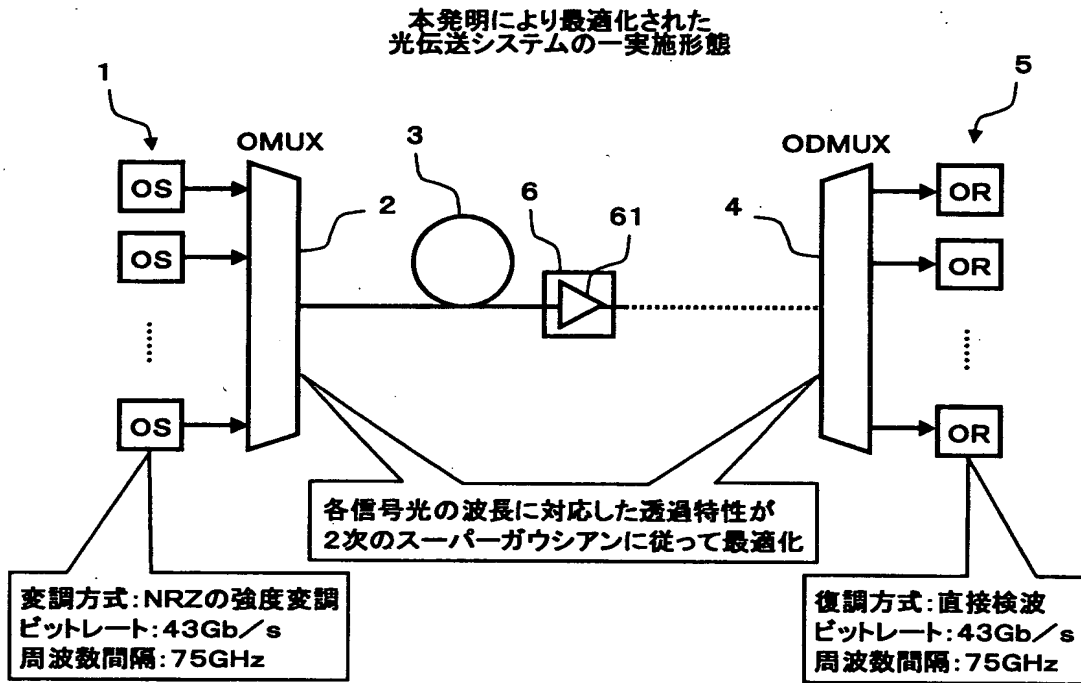
【図 5】



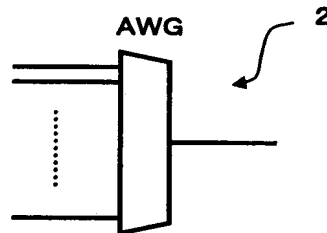
【図 6】



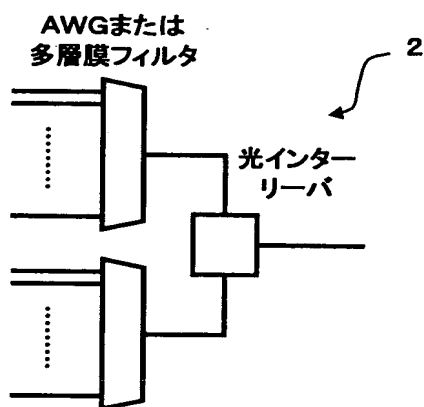
【図 7】



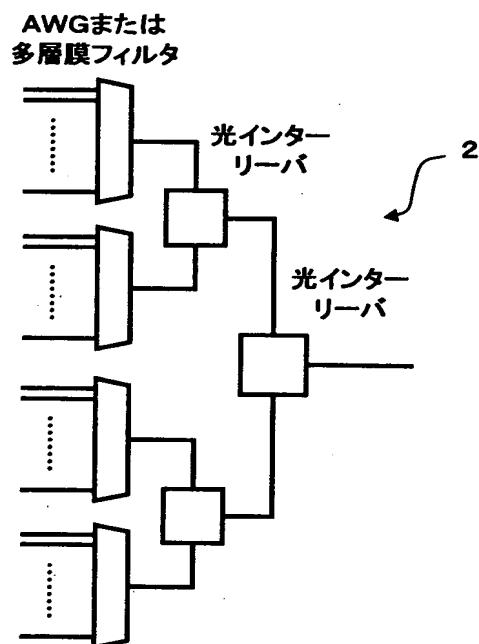
【図 8】



【図 9】

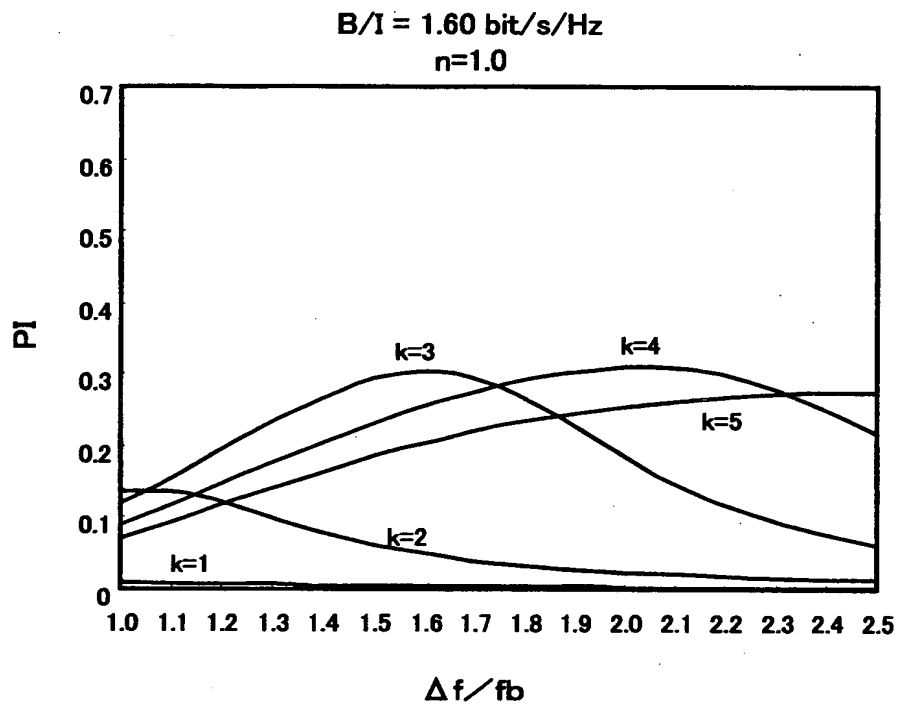


【図 1 0】

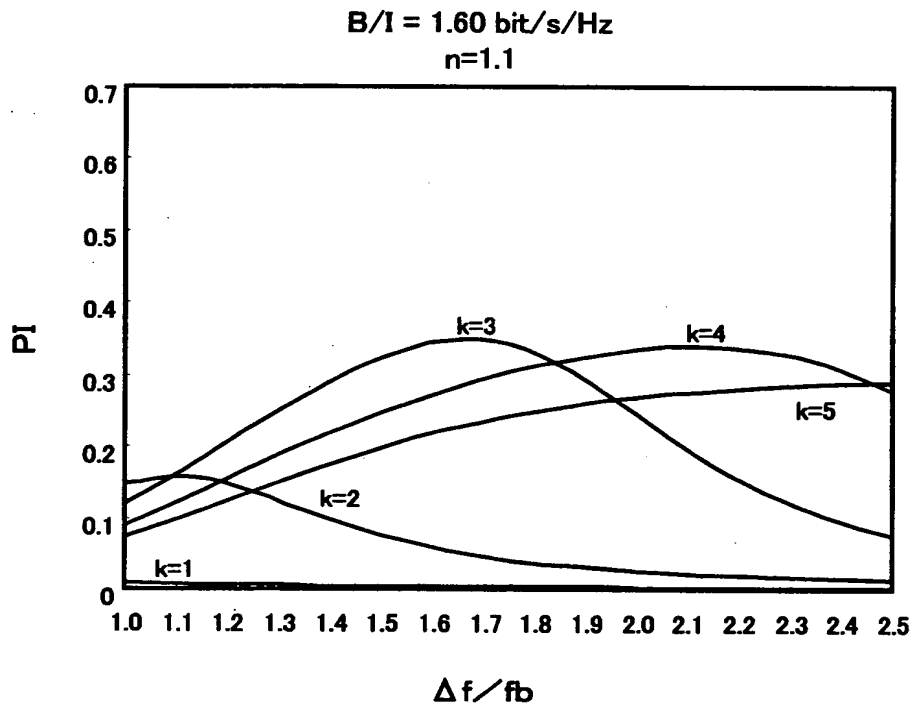




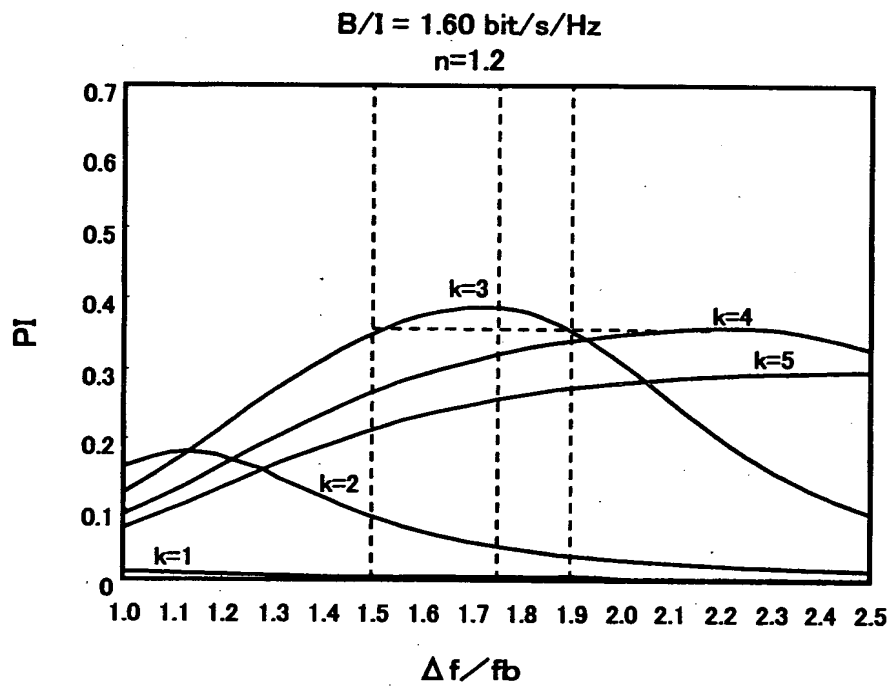
【図 1 1】



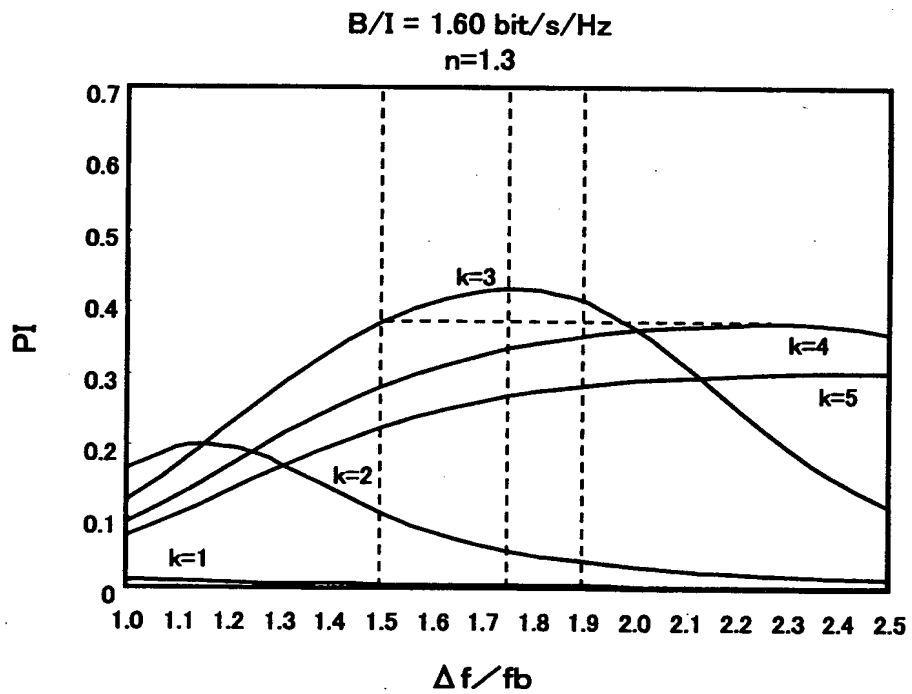
【図 1 2】



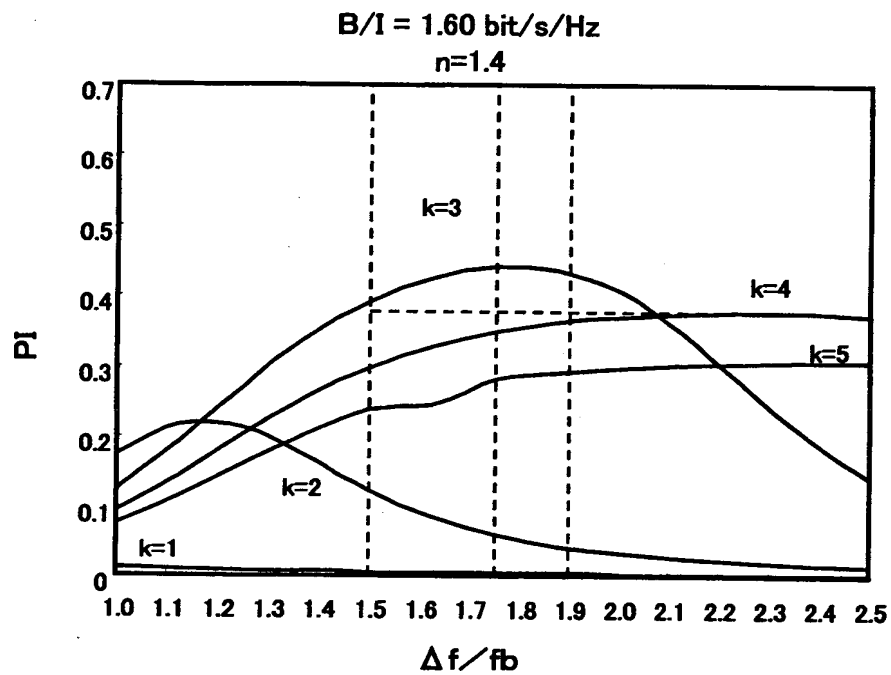
【図 1 3】



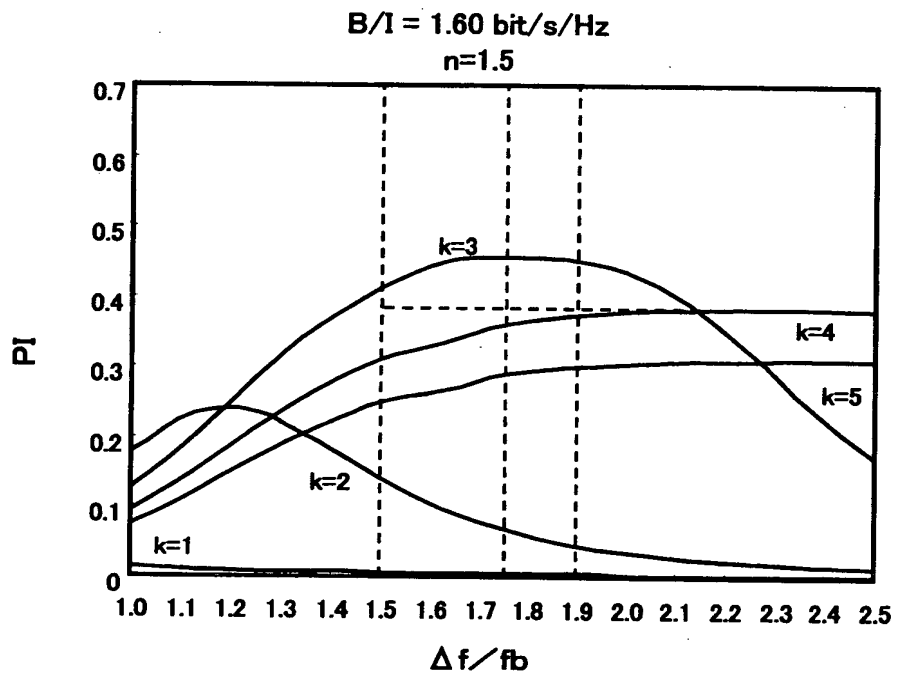
【図 1 4】



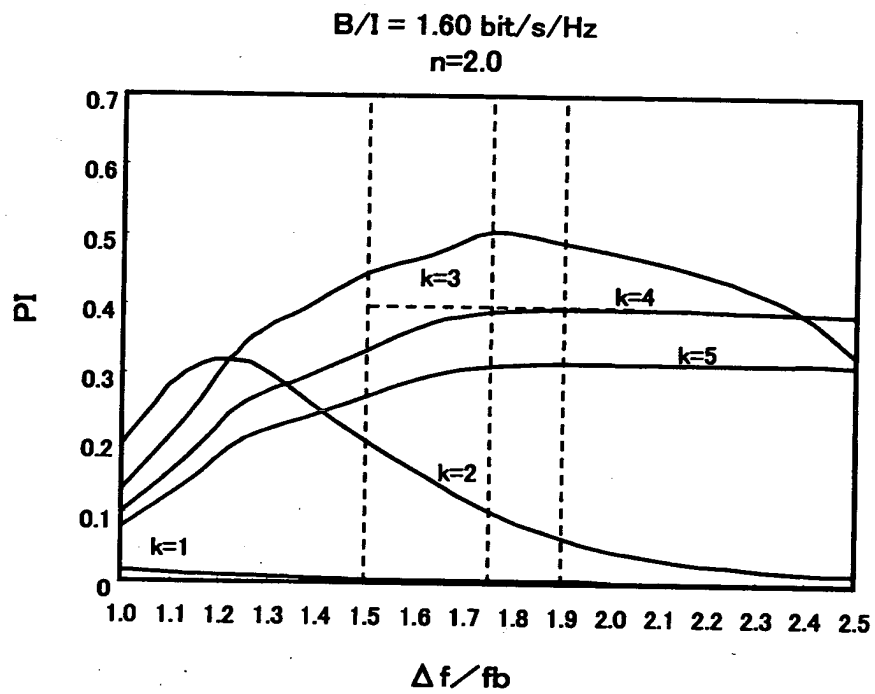
【図 15】



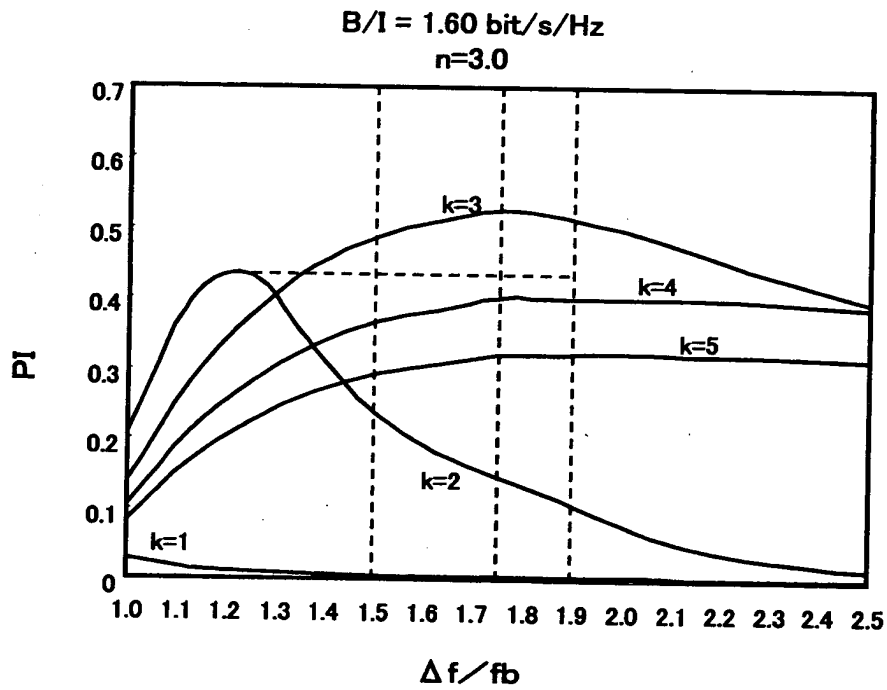
【図 16】



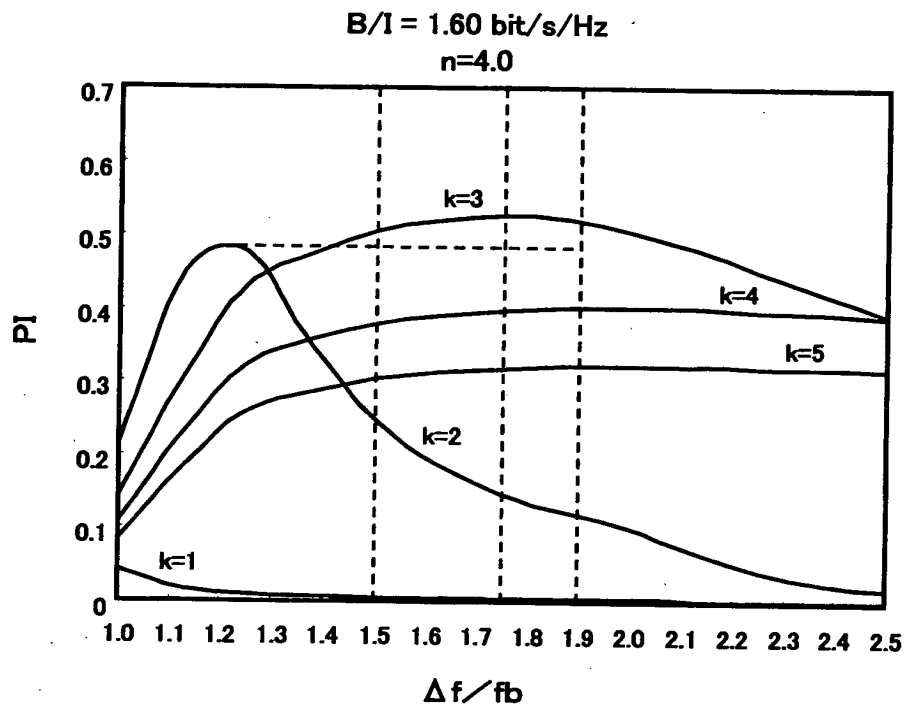
【図 17】



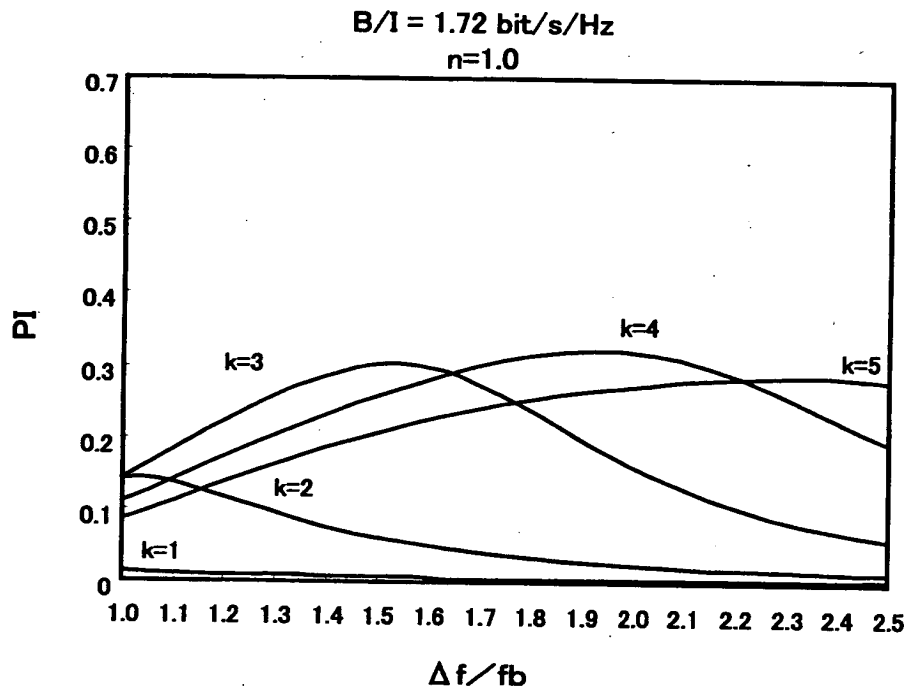
【図 18】



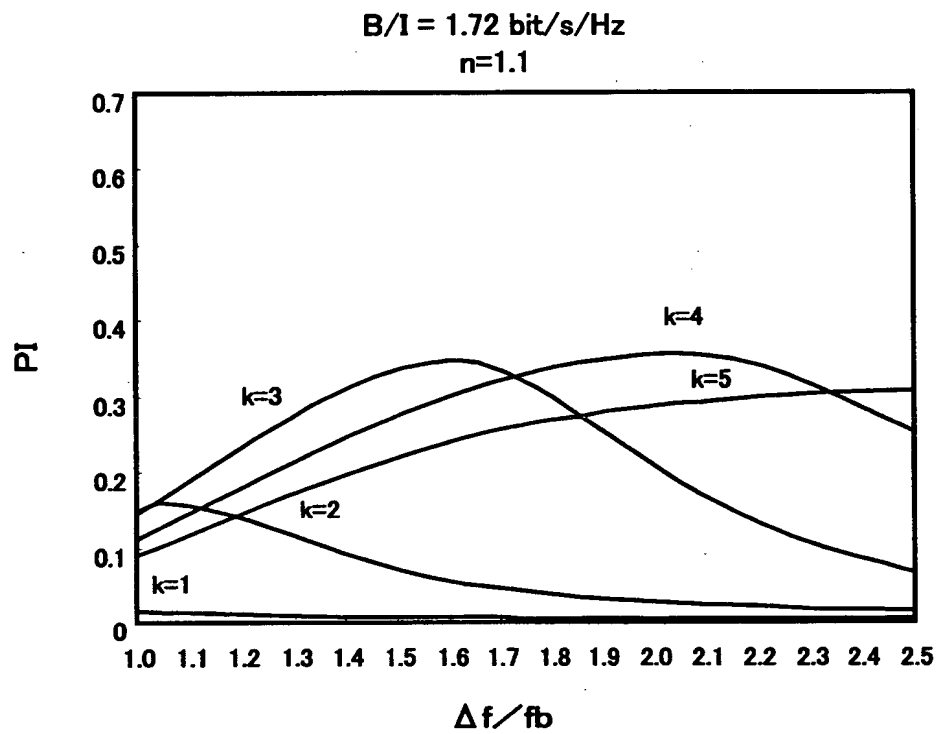
【図19】



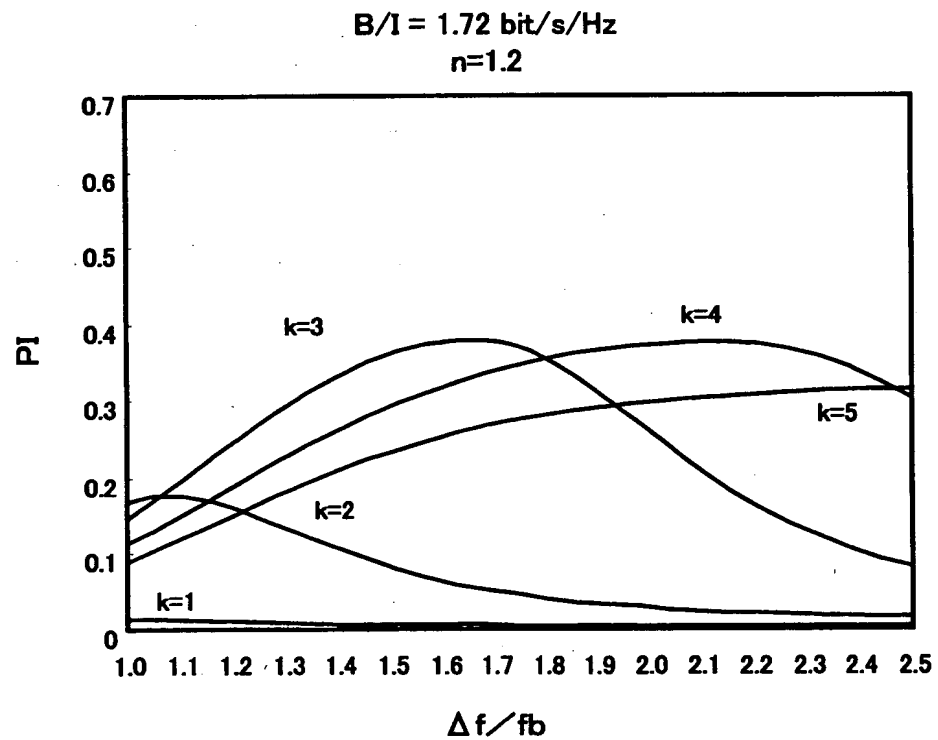
【図20】



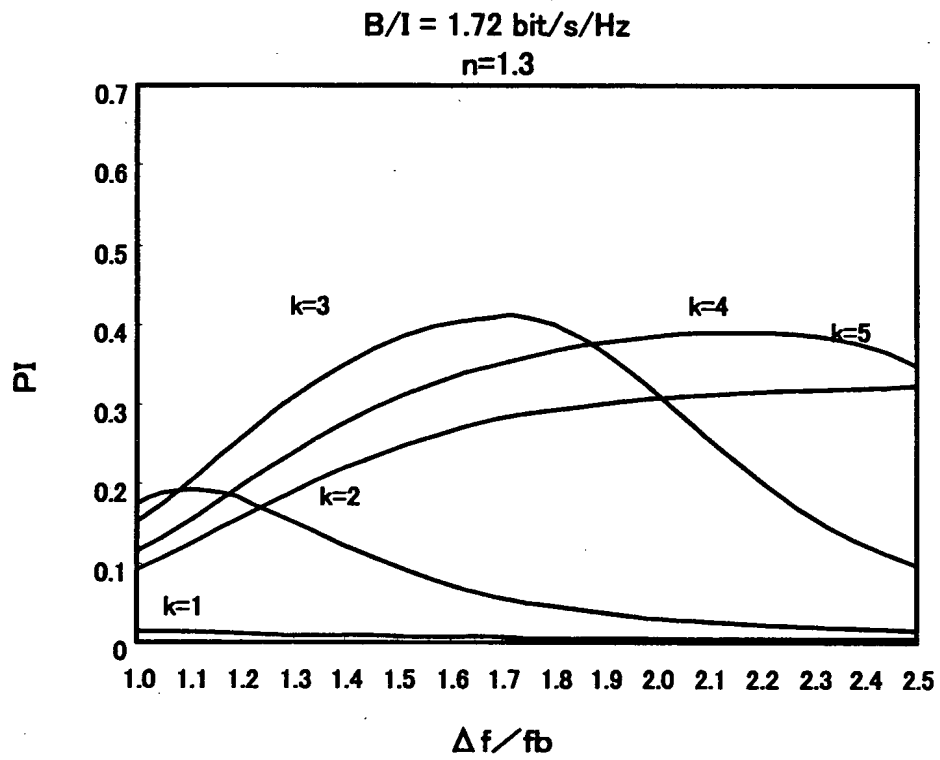
【図 2 1】



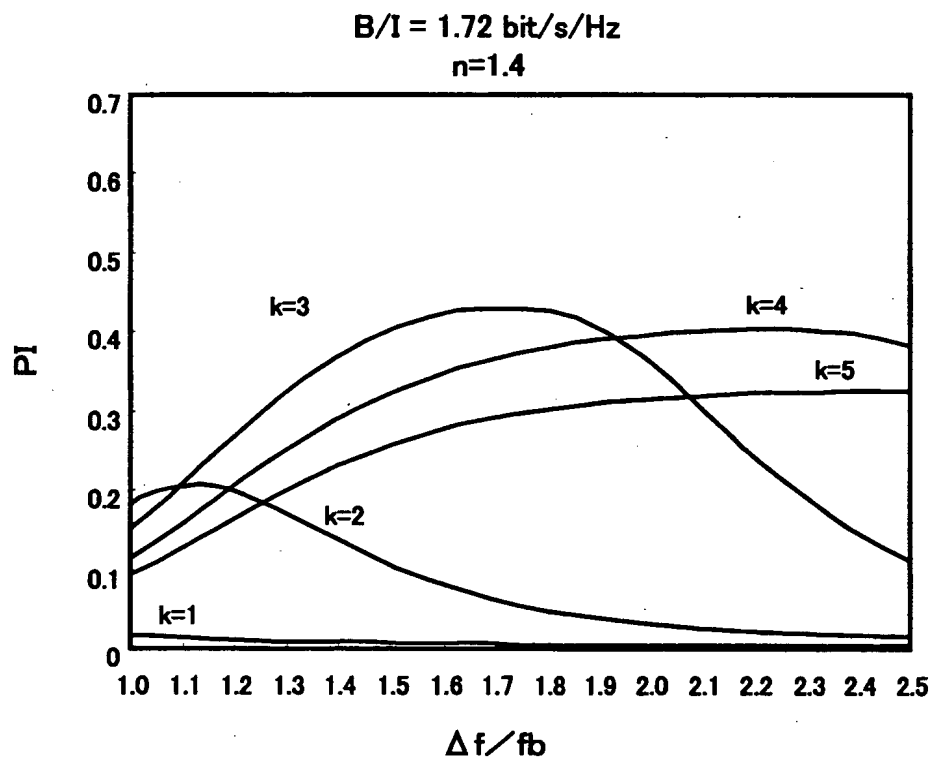
【図 2 2】



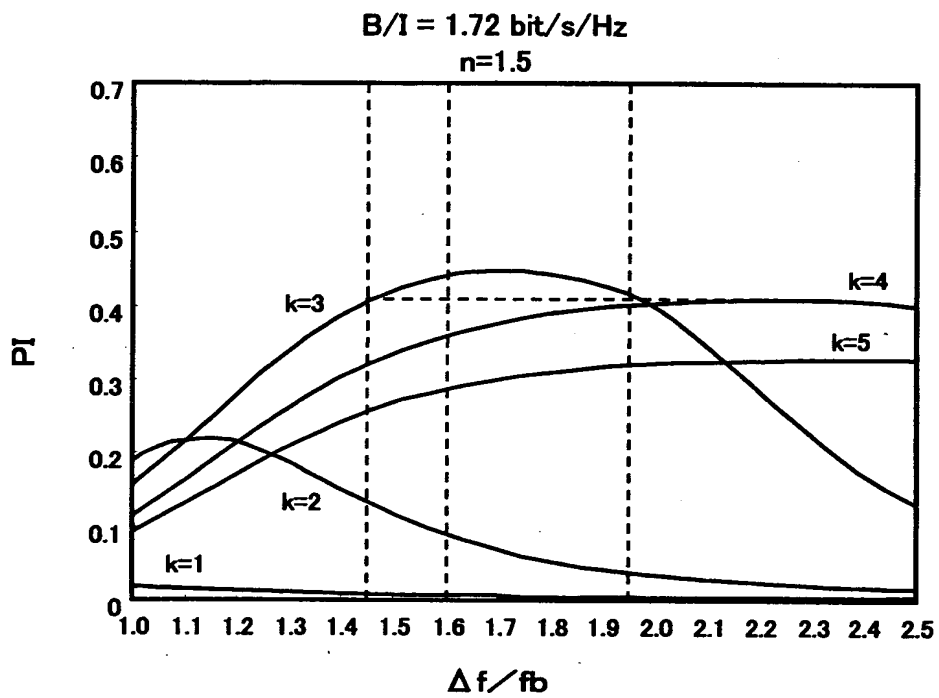
【図 23】



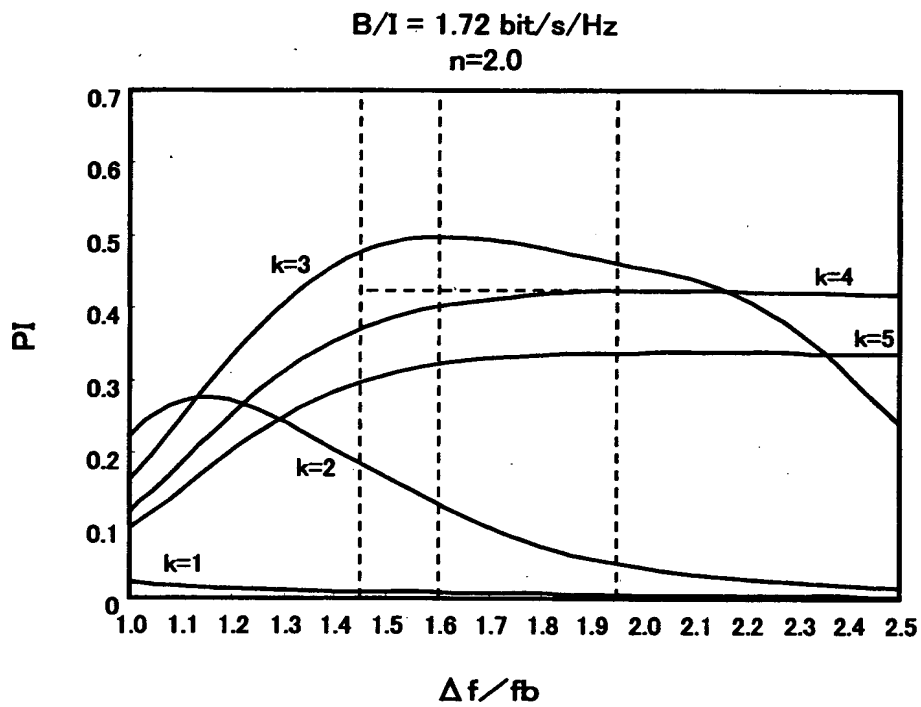
【図 24】



【図 2 5】

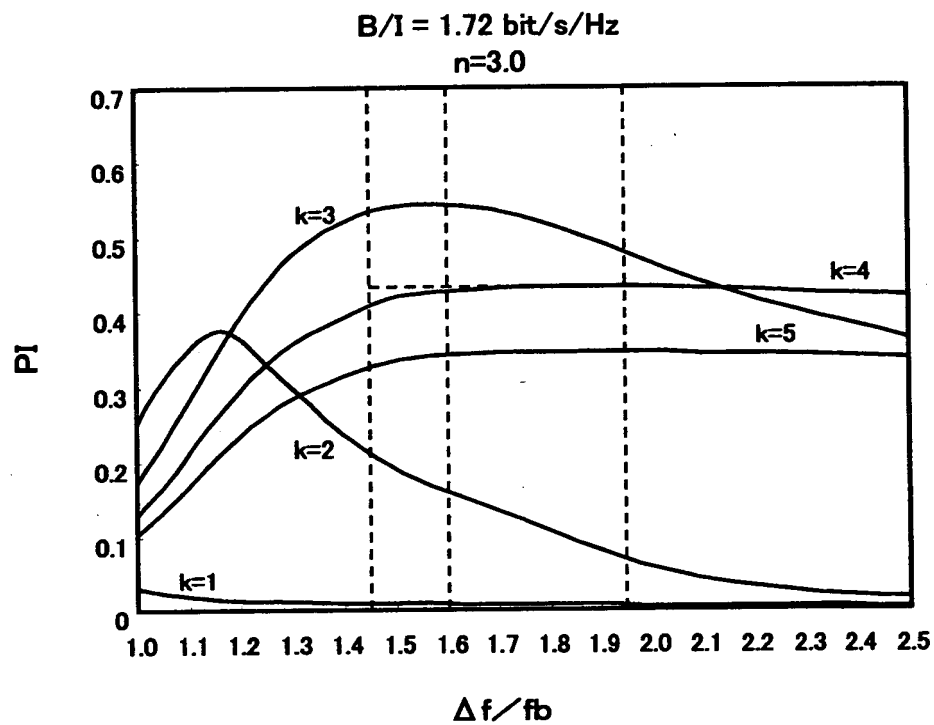


【図 2 6】

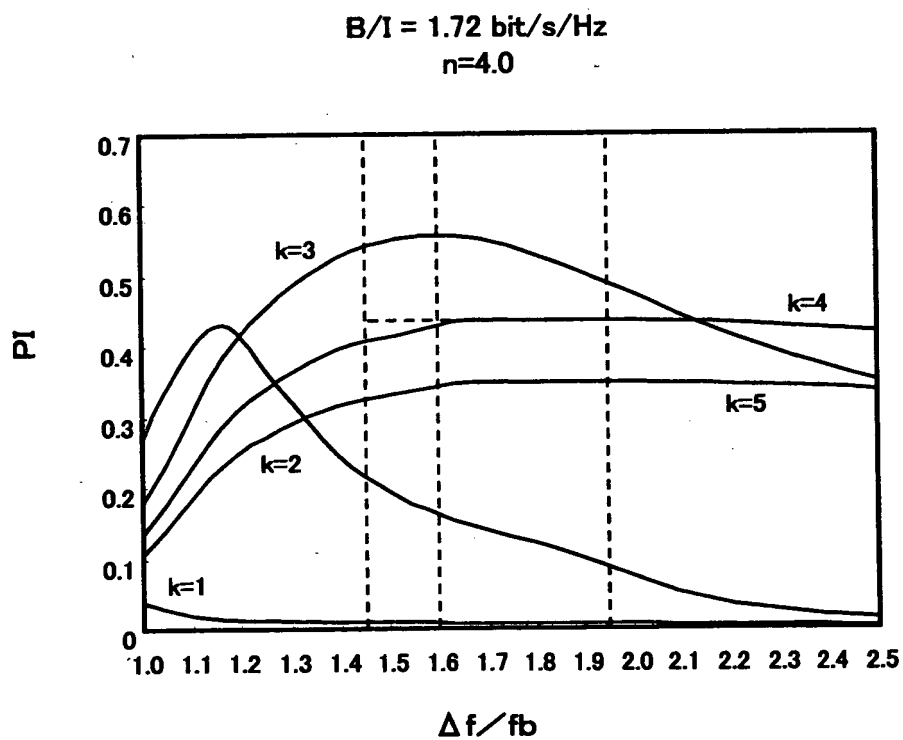




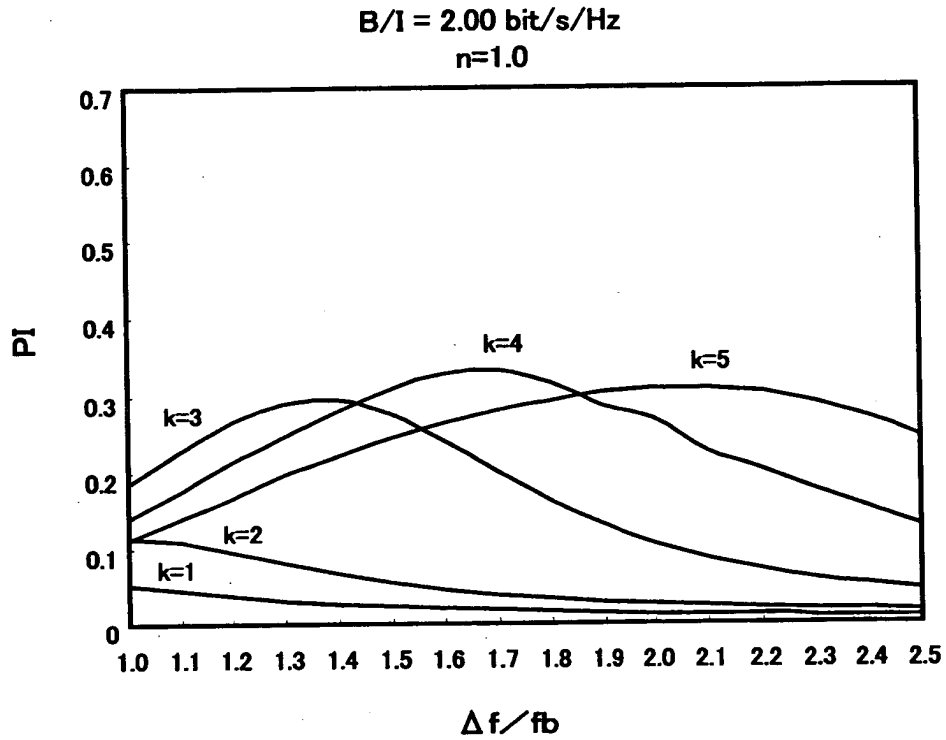
【図27】



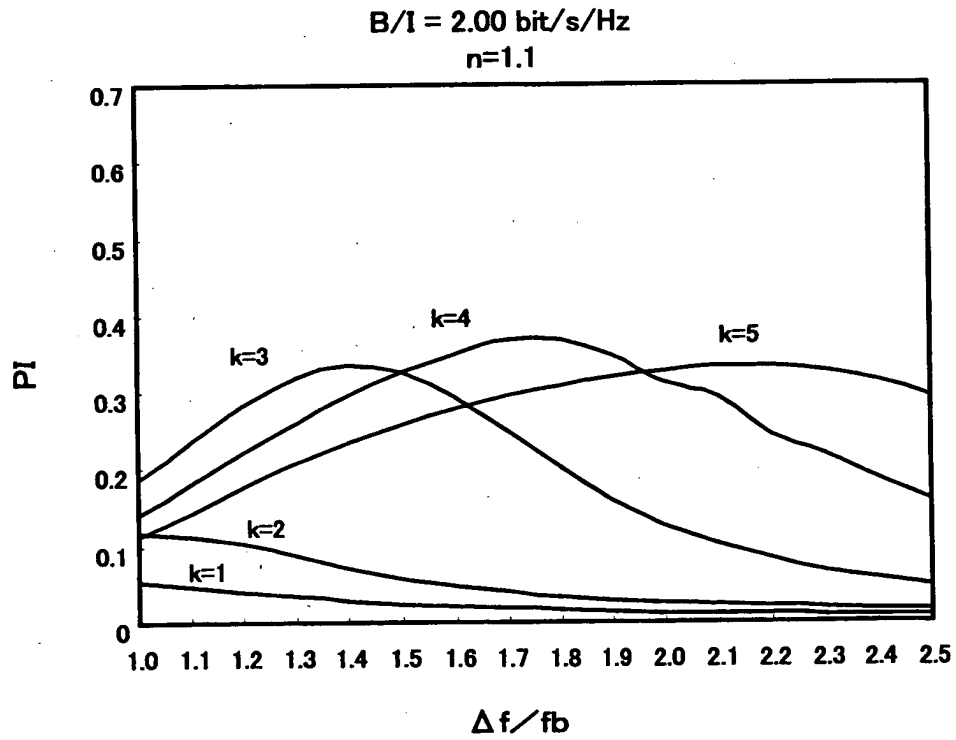
【図28】



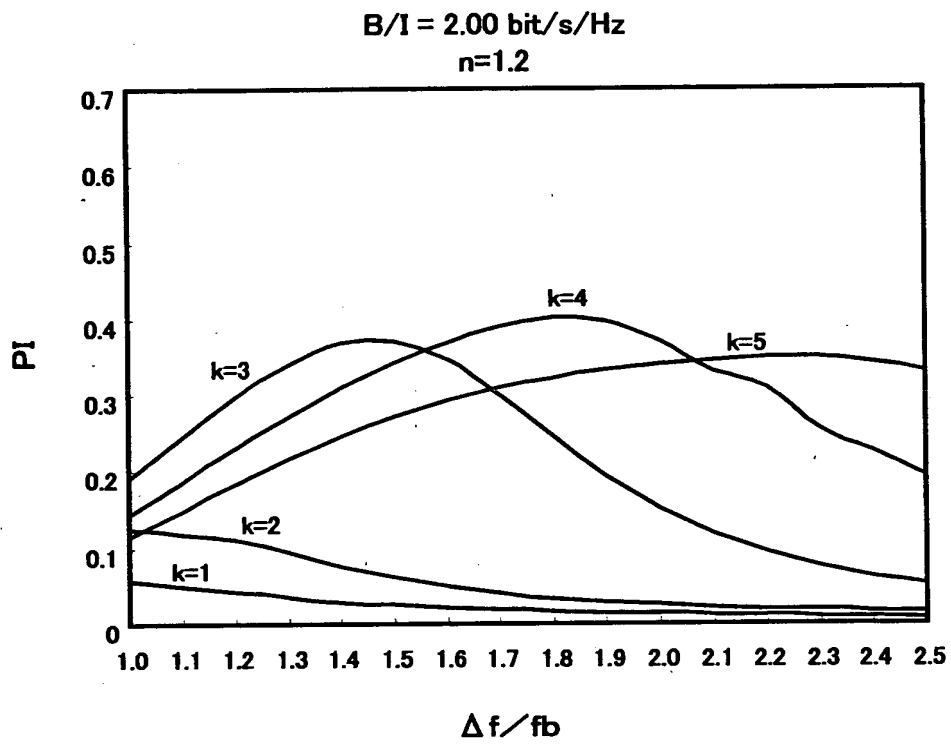
【図 29】



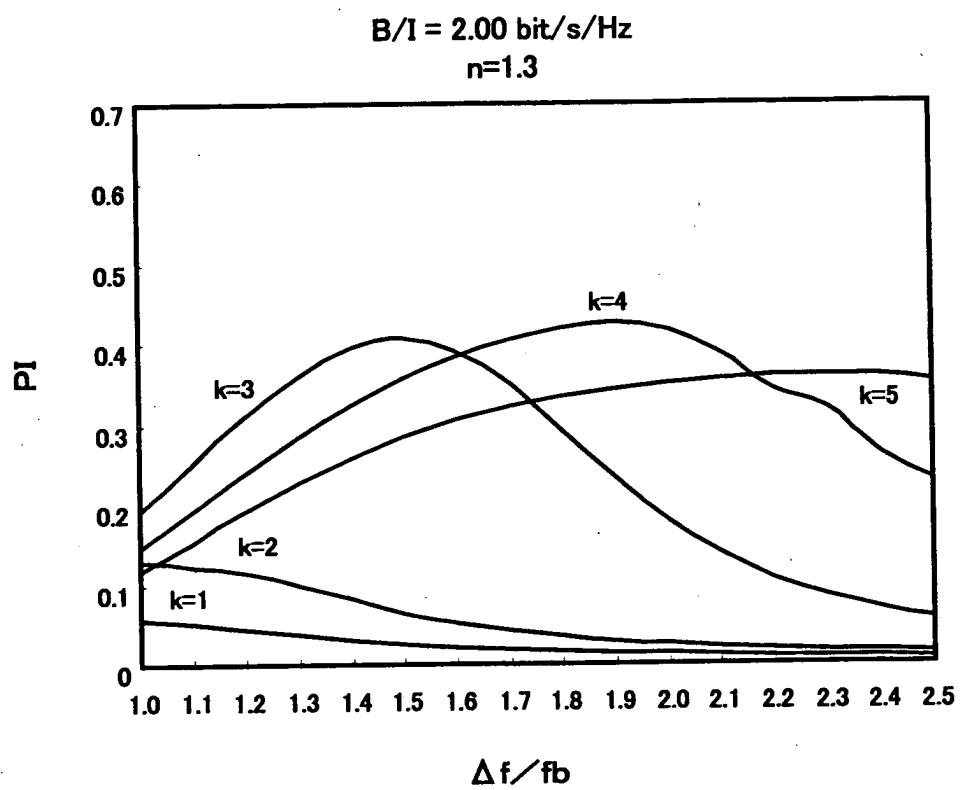
【図 30】



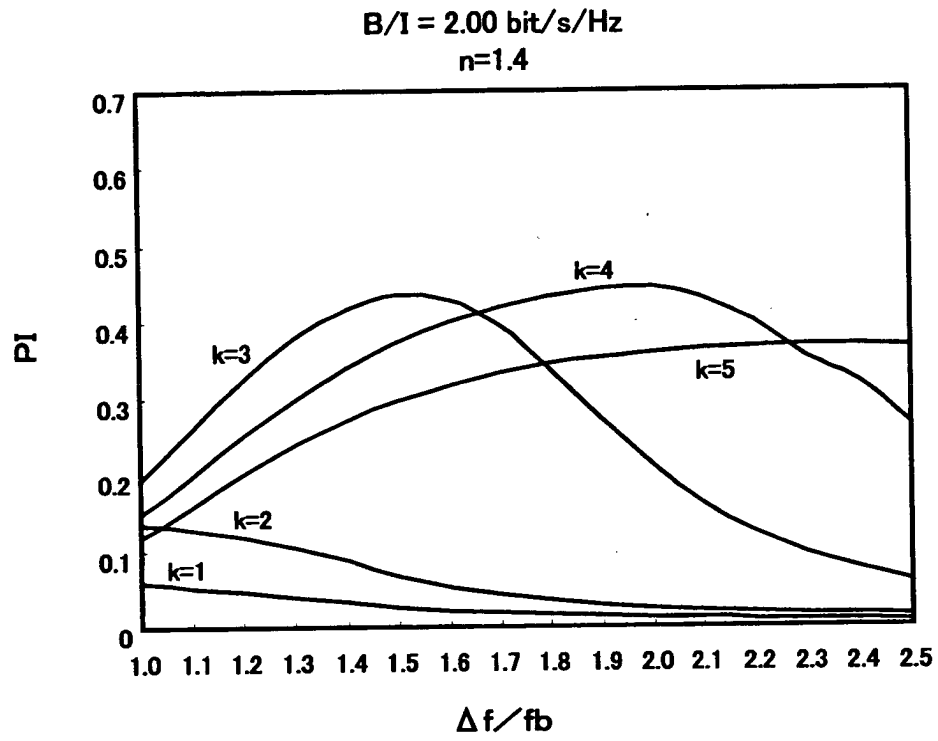
【図 3 1】



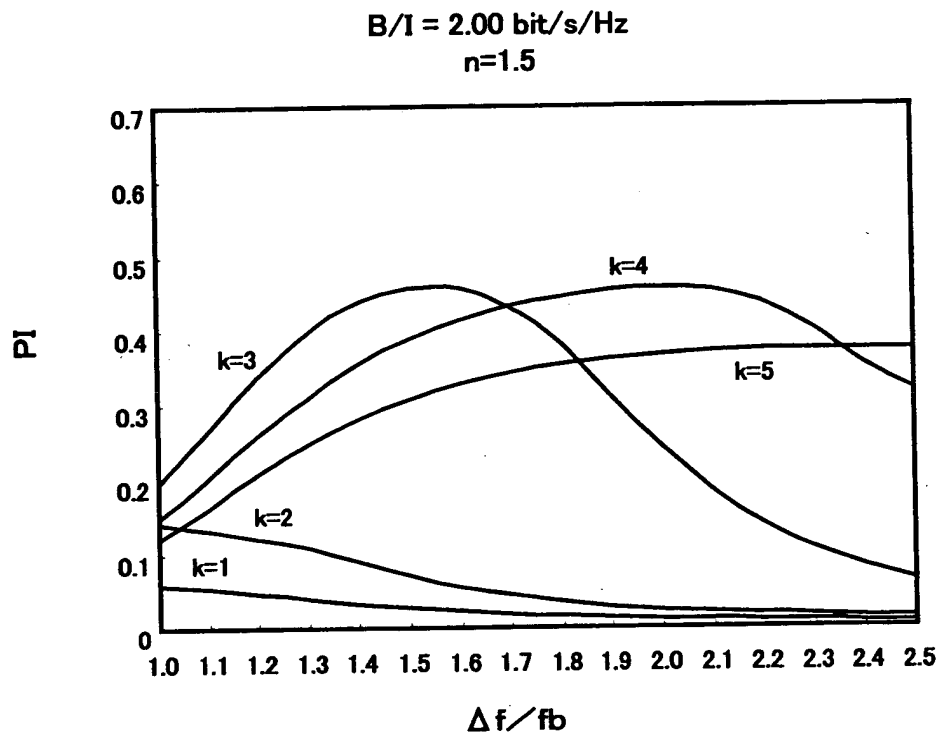
【图 3 2】



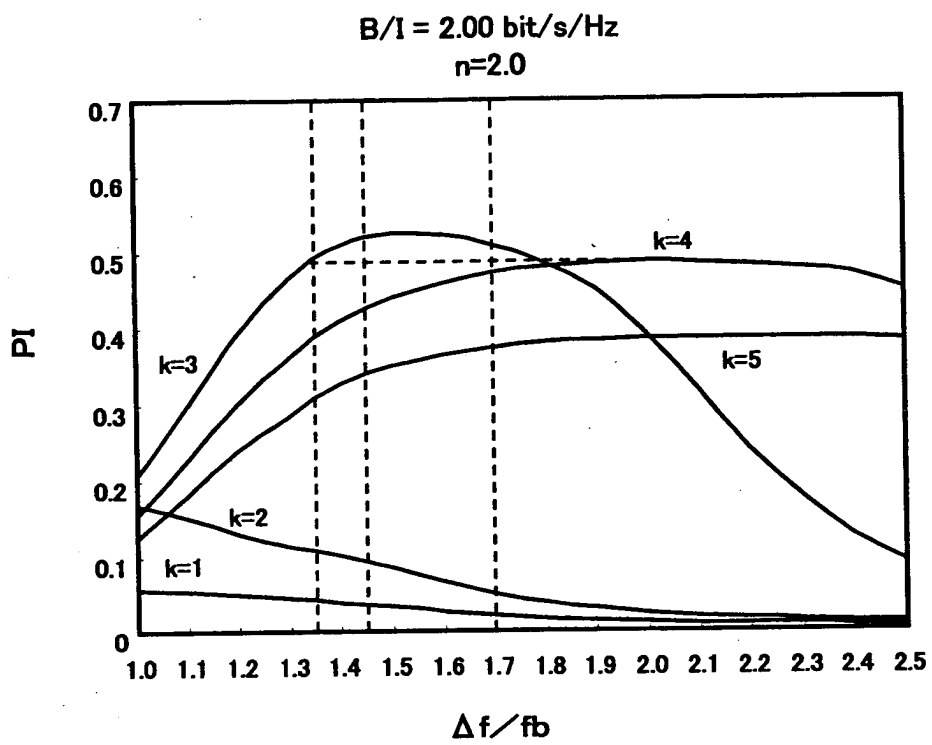
【図 33】



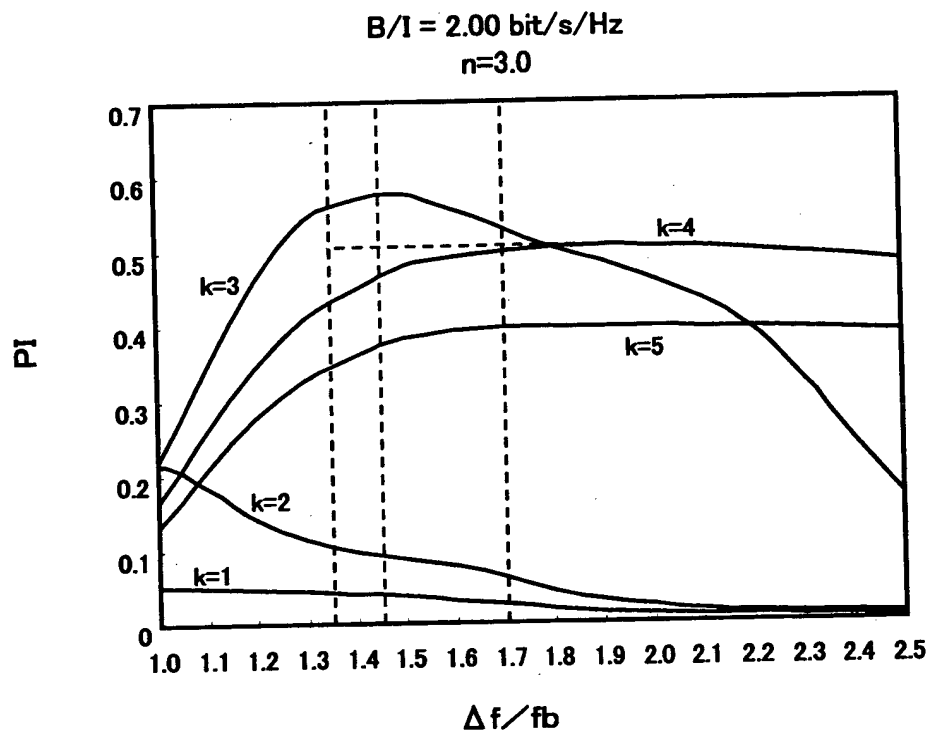
【図 34】



【図 35】

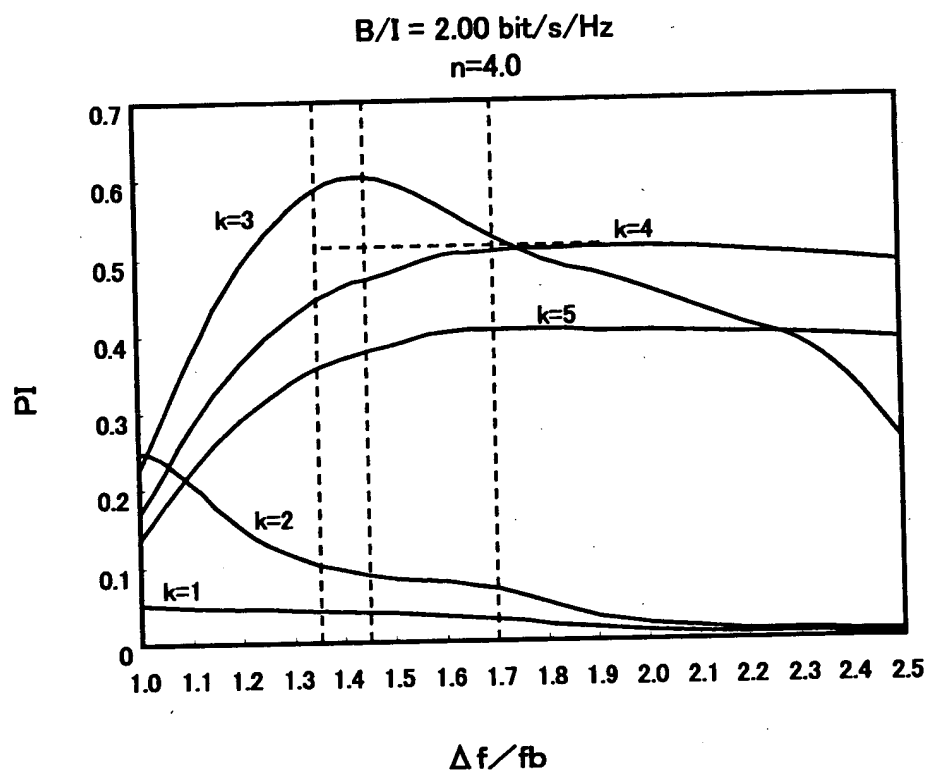


【図 36】





【図 37】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高いスペクトル効率と大きな伝送距離容量積が同時に得られるような伝送条件を特定し、低コストかつ小型な光送信器および光受信器を用いて高密度波長多重光伝送を実現した光伝送システムを提供する。

【解決手段】 本発明のWDM光伝送システムは、信号光の変調形式を定め、かつ、光合波器 2 および光分波器 4 の透過特性を表すモデル式を仮定することに基づいて、伝送距離容量積が最大値となるスペクトル効率を計算によって特定し、そのスペクトル効率に近づくように、各光送信器 1 から出力される信号光のビットレートおよび周波数間隔、並びに、光合波器 2 および光分波器 3 の透過特性を最適化したシステム構成を有するものである。

【選択図】 図 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
氏 名 富士通株式会社